Aus dem Institut für Leistungsmedizin Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. H. Mellerowicz

*

Vergleichende Untersuchungen an eineiigen Zwillingen über die Wirkung von Höhentraining auf verschiedene Blutkomponenten

Inaugural Dissertation
zur Erlangung der
medizinischen Doktorwürde
an den medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Andreas Epping
aus Berlin

1976

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547205_0039

Aus dem Institut für Leistungsmedizin Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. H. Mellerowicz

*

Vergleichende Untersuchungen an eineiigen Zwillingen über die Wirkung von Höhentraining auf verschiedene Blutkomponenten

Inaugural Dissertation
zur Erlangung der
medizinischen Doktorwürde
an den medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Andreas Epping
aus Berlin

Referent: Professor Dr. med. H. Mellerowicz

Korreferent: Professor Dr. H.-J. Dulce

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 17. August 1976

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Einleitung und Begründung	1
2.	Methodik	3
2.1.	Versuchspersonen	3
2.2.	Training	7
2.2.1.	Trainingsorte	7
2.2.2.	Trainingsgeräte	7
2.2.3.	Trainingsbedingungen	7
2.2.4.	Trainingsprogramm	7
2.2.5.	Trainingssoll-Leistungen	7
2.3.	Umweltfaktoren	8
2.3.1.	Ernährung und Genußmittel	8
2.3.2.	Unterkunft	9
2.3.3.	Freizeit und Schlaf	9
2.3.4.	Betreuung	9
2.3.5.	Luftdruck und Lufttemperatur bei Training und Tests	9
2.4.	Blutuntersuchungen	9
2.4.1.	Termine der Blutentnahme	9
2.4.2.	Technik der Blutentnahme	9
2.4.3.	Methodik der Blutuntersuchungen	1o
2.4.3.1.	Das Blutbild	1o
2.4.3.1.1.u 2.4.3.1.2.	Erythrozyten- und Leukozytenzählung	1o
2.4.3.1.3.	Hämoglobinbestimmung	1o
2.4.3.1.4.	Hämatokritbestimmung	1o
2.4.3.1.5.	Bestimmung des mittleren Erythrozytenvolumens	1o
2.4.3.1.6.	Bestimmung des mittleren Hämoglobingewichtes eines Erythrozyten.	11
2.4.3.1.7.	Bestimmung der mittleren Hämoglobinkonzentration in einem Erythrozyten.	11
2.4.3.2.	Bestimmung der Serumkonzentration von:	11
2.4.3.2.1.	Natrium	11
2.4.3.2.2.	Kalium	11
2.4.3.2.3.	Chlor	12
2.4.3.2.4.	Kohlendioxyd	12
2.4.3.2.5.	Harnstoff	12
2.4.3.2.6.	Glucose	12
2.4.3.2.7.	Gesamt-Eiweiß	12
2.4.3.2.8.	Albumin	12
2.4.3.2.9.	Anorganisches Phosphat	13
2.4.3.2.1o.	Gesamt-Cholesterin	13
2.4.3.2.11.	Harnsäure	13
2.4.3.2.12.	Kreatinin	13
2.4.3.2.13.	Gesamtbilirubin	13
2.4.3.2.14.	Alkalische Phosphatase	14
2.4.3.2.15.	Kreatin-Phosphokinase (CPK)	14
2.4.3.2.16.	Lactat-dehydrogenase (LDH)	14
2.4.3.2.17.	Glutamat-Oxalacetat-Transminase (GOT)	14
2.4.3.2.18.	Kalzium	14

		Seite
2.5.	Bewertung der Ergebnisse	15
3.	Ergebnisse und Beurteilung	17
3.1.	Sauerstofftransportkapazität im Blut	17
3.1.1.	Erythrozyten	17
3.1.1.1.	Ergebnis	17
3.1.1.2.	Beurteilung	17
3.1.2.	Hämoglobin	21
3.1.2.1.	Ergebnis	21
3.1.2.2.	Beurteilung	21
3.1.3.	Hämatokrit	23
3.1.3.1.	Ergebnis	23
3.1.3.2.	Beurteilung	23
3.1.4.	Erythrozytenvolumen, mittleres Hämoglobingewicht eines Erythrozyten und mittlere Hämoglobinkonzentration in einem Erythrozyten	25
3.1.4.1.	Ergebnis	25
3.1.4.2.	Beurteilung	26
3.2.	Leukozyten	32
3.2.1.	Ergebnis	32
3.2.2.	Beurteilung	32
3.3.	Gesamtbilirubin und alkalische Phosphatase im Serum	32
3.3.1.	Ergebnis	32
3.3.2.	Beurteilung	34
3.4.	Serumkonzentrationen von Natrium und Kalium-Ionen	4o
3.4.1.	Ergebnis	4o
3.4.2.	Beurteilung	4o
3.5.	Chlorid-Ionen und venöse CO_2-Konzentration	4o
3.5.1.	Ergebnis	4o
3.5.2.	Beurteilung	4o
3.6.	Serumkonzentrationen von Harnstoff und Kreatinin	45
3.6.1.	Ergebnis	45
3.6.2.	Beurteilung	45
3.7.	Serumkonzentration von Kalzium und Anorganischem Phosphat	48
3.7.1.	Ergebnis	48
3.7.2.	Beurteilung	48
3.8.	Gesamt-Eiweiß- und Albumingehalt im Blut	51
3.8.1.	Ergebnis	51
3.8.2.	Beurteilung	51
3.9.	Harnsäure	57
3.9.1.	Ergebnis	57
3.9.2.	Beurteilung	57
3.1o.	Glukose im Serum	59
3.1o.1.	Ergebnis	59
3.1o.2.	Beurteilung	59

		Seite
3.11.	Gesamt-Cholesterin im Serum	61
3.11.1.	Ergebnis	61
3.11.2.	Beurteilung	61
3.12.	Enzyme GOT, LDH, CPK	64
3.12.1.	Ergebnis	64
3.12.1.1.	GOT	64
3.12.1.2.	LDH	64
3.12.1.3.	CPK	66
3.12.2.	Beurteilung	66
4.	Zusammenfassende Beurteilung	78
5.	Zusammenfassung	8o
	Literaturverzeichnis	83

Vergleichende Untersuchungen an eineiigen Zwillingen
über die Wirkungen von Höhentraining
auf verschiedene Blutkomponenten.

1. Einleitung :

Zahlreiche Arbeiten über Wirkungen von Höhenexposition auf den menschlichen Organismus liegen vor, so untersuchten F. Viault, A. Hurtado et al., L. Heilmeyer et al., C.F. Merino und C. Reynafarje, O. Cohnheim und E. Kreglinger, T.H. Sommerwell, J.A. Campbell und Z.I. Barbashova anhand von Beobachtungen der einheimischen Bevölkerung oder von Tieflandbewohnern bei der Anpassung an die Höhe, die Auswirkungen der Hypoxie auf das menschliche Blutbild.

Dabei standen die Auswirkungen des durch den verminderten Luftdruck verringerten Sauerstoffpartialdruckes auf das rote Blutbild bei akuter und chronischer Höhenexposition im Vordergrund. Brendel untersuchte die Anpassung von Atmung und Kreislauf im Verlaufe einer Himalaja-Expediton und H. Roskamm et al. (Febr. 1968) und H.E. Weidemann untersuchten neben dem Blutbild unter anderem den Einfluß von Höhe auf die Leistung.

H. Roskamm et al. (1968), K. Klausen et al. und H. Mellerowicz et al. (197o) haben sich unter anderem durch die Ausrichtung der Olympischen Spiele 1968 in 2.ooo m Höhe in Mexico und den damit verbundenen Problemen der Anpassung und Umstellung der Sportler angeregt, mit vergleichenden Untersuchungen über die Auswirkung von Training in Hypoxie auf die Leistung in Normoxie beschäftigt. Sie alle fanden eine Leistungssteigerung durch Belastung in der Höhe gegenüber einem Training im Tiefland. Die Untersuchungen fanden mit Versuchspersonen statt, die sich, wenn auch sonst auf mögliche Homogenität der Gruppen geachtet wurde, aufgrund ihrer von Natur aus unterschiedlichen Erbanlage unterschieden.

Deshalb führten W. Meller, H. Mellerowicz, E. Lübs, Ch. Kieper und H. Howald 1973 und 1974 eine Untersuchung durch, bei der nicht nur die äußeren Bedingungen der Vergleichspersonen , wie Unterkunft, Ernährung und Trainingsleistung möglichst gleich gehalten wurde, sondern auch die genetische Ausgangslage annähernd gleich war: D.h. Paare von eineiigen Zwillingen wurden auf die Höhentrainingsgruppe und die zum Vergleich dienende Gruppe mit Training in Meereshöhe verteilt. Dadurch wurde mit möglichst gleichen endogenen und gleichen exogenen Bedingungen gearbeitet.

Die Untersuchungen an den eineiigen Zwillingen bestätigten die anderer Untersucher. In der Gruppe, die vier Wochen in 2.ooo m Höhe trainierte, wurde gegenüber der anderen Gruppe, die diesselbe Zeit in Meereshöhe trainierte, ein erheblich größerer Zuwachs der ergometrischen 1o-Minuten-Maximalleistung und eine wesentlich größere, außerhalb der Fehlerbreite der Methode liegende Zunahme der maximalen O_2-Aufnahme beobachtet. Bei diesen Untersuchungen sind neben Messungen der pulmonalen Leistungsfähigkeit, neben Muskelbiopsien und Blutgasanalysen (die Arbeiten sind im Druck) Untersuchungen des Blutbildes und der Serumkonzentration von Natrium, Kalium, Kalzium, Chlor, Kohlendioxyd, Harnstoff, anorganisches Phosphat, Glucose, Gesamt-Eiweiß, Albumin, Gesamt-Cholesterin, Harnsäure, Kreatinin, Gesamt-Bilirubin sowie der Serumaktivitäten der GOT, LDH, CPK und alkalischen Phosphatase vorgenommen worden.

Diese Untersuchungen liegen unserer Arbeit zugrunde und sollen der Beantwortung der Frage dienen, welche quantitativen und qualitativen Zusammenhänge zwischen dem durch Höhentraining bedingten Leistungszuwachs und Veränderungen der genannten Blutkomponenten bestehen.

2. Methodik

2.1. Versuchspersonen (Vpn)

Als Vpn standen 1973 und 1974 jeweils zwei Paare eineiiger Zwillinge zur Verfügung: 1973 die Brüder Ni. (Be. u. Pe.), 2o Jahre alt und die Brüder He. (Kl. u. J.), 23 Jahre alt; 1974 ebenfalls die Brüder Ni. und die Brüder Wi. (Be. u. H.), ein halbes Jahr älter als Ni.
Alle Versuchspersonen waren zur Zeit der Untersuchung Studenten. 1973 lebten die Zwillinge Ni. gemeinsam bei ihren Eltern; die Brüder He. lebten allein und getrennt. 1974 lebten beide Zwillingspaare bei den Eltern.

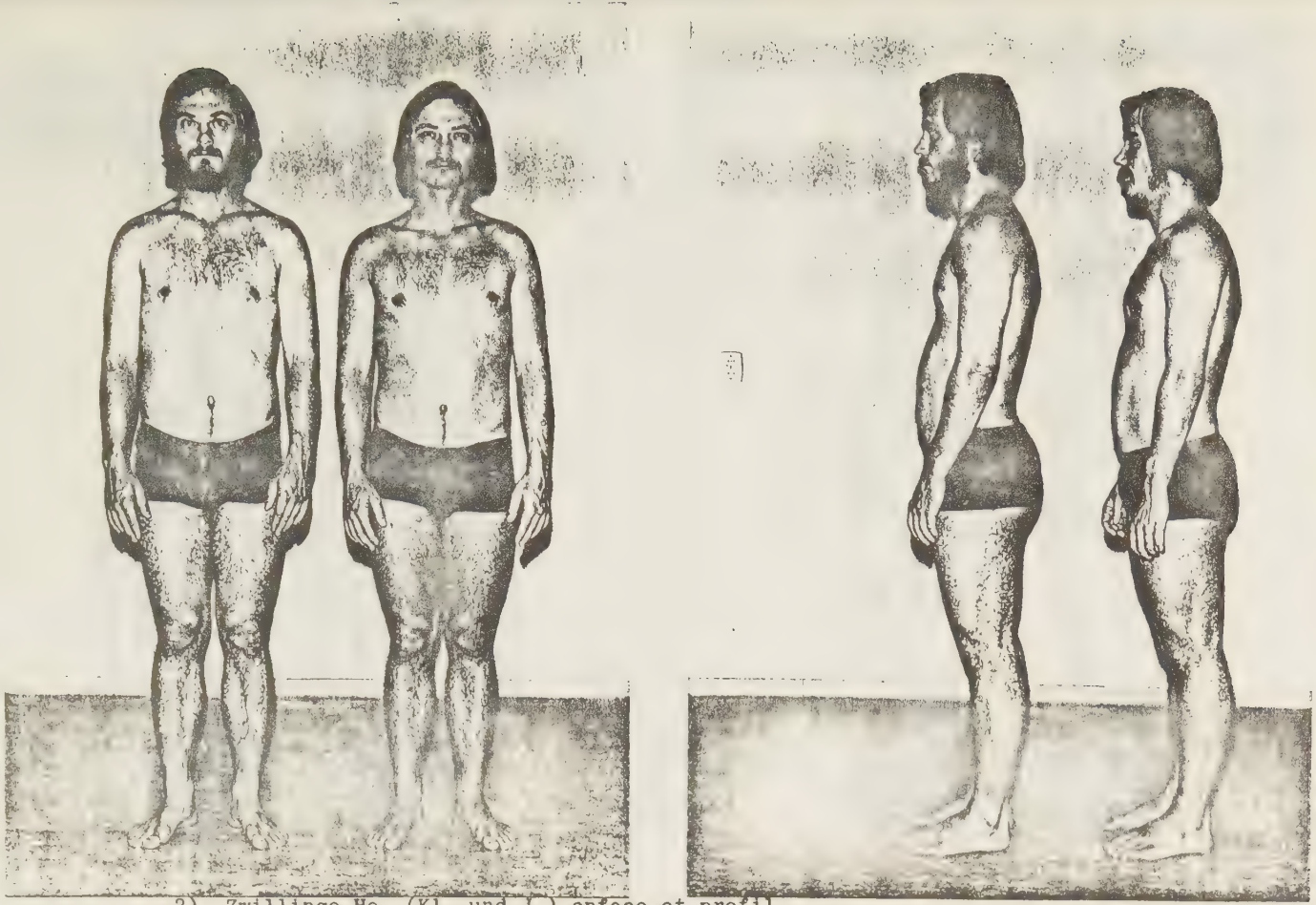
Die Zwillinge eines Paares ähnelten sich jeweils so, daß ein außenstehender Betrachter sie nicht unterscheiden konnte; nur die Begleitpersonen, die jeweils 14 Tage mit den Vpn zusammenlebten, konnten dann zwischen den einzelnen Zwillingen eines Paares unterscheiden. Denn neben der gleichen Erban - lage hatten jeweils ähnliche Lebensgewohnheiten zu kaum merkbaren Unterschieden in Gewicht und Körperbau geführt (siehe auch Bilder enface et profil).
Die Brüder Ni. hatten bis 1973 zusammen Dauerleistungstraining durchgeführt und konnten als gut trainierte Dauerleister eingestuft werden. Sie trainierten aber zur Zeit der Untersuchung nicht mehr regelmäßig. Die Brüder He. und Wi. waren untrainiert. Sie übten Sport mit geringer Intensität zur Erholung aus.

1973 wurden durch Zufallszuteilung zwei Gruppen gebildet mit je einem Zwilling Ni. und He.. 1974 wurde der Zwilling Ni., der 1973 in 2.ooo m Höhe trainiert hatte, in die Gruppe mit Training in Meereshöhe eingereiht. Die Zwillinge Wi. durften sich die Gruppe auswählen. Gruppe H führte das Training in 2.ooo m Höhe durch und Gruppe M auf Meereshöhe (Tab. 1).

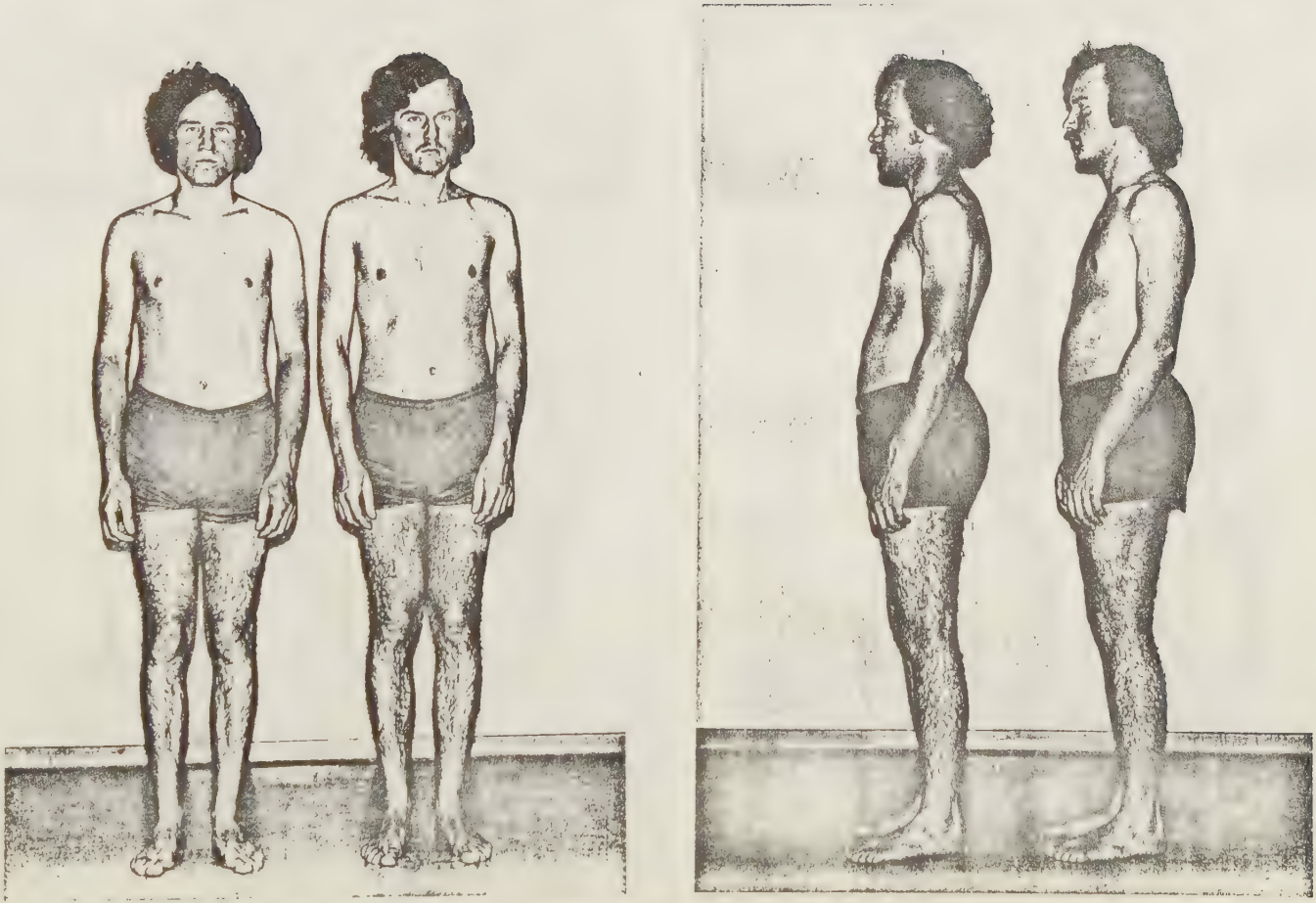
Tab. 1 Gruppenaufteilung der Versuchspersonen

		Gruppe H = Höhentraining	Gruppe M = Training in Meereshöhe
1973	Ni. He.	Be. Kl.	Pe. J.
1974	Ni. Wi.	Pe. Be.	Be. H.

1) Zwillinge Ni. (Pe. und Be.) enface et profil



2) Zwillinge He. (Kl. und J.) enface et profil



3) Zwillinge Wi. (Be. und H.) enface et profil

2.2. Training

2.2.1. Trainingsorte

Gruppe H trainierte in 2.ooo m Höhe, 1973 in Kühtai, 1974 am Kronplatz bei Bruneck, Gruppe M trainierte in Meereshöhe in Malente (Schleswig-Holstein).

2.2.2. Trainingsgeräte

Der Vortest, nach dem die Trainingssoll-Leistungen für die erste Woche des Versuches berechnet wurden, wurde in einem Labor des LZB-Sportmedizin Berlin auf einem Laukner-Fahrradergometer durchgeführt. Für das Training und die 1o-Minuten-Maximaltests, die jeweils den Berechnungen der Trainings - soll-Leistungen für die nächste Versuchswoche zugrunde lagen, wurden wegen der leichteren Transportfähigkeit je ein Monark-Fahrradergometer verwandt.

2.2.3. Trainingsbedingungen

Jede Gruppe benutzte während des Versuchs stets konstant dasselbe Fahrradergometer für Training und Test. Das Training fand für alle Versuchspersonen vormittags von 1o-11 Uhr und nachmittags von 16-17 Uhr statt.

2.2.4. Trainingsprogramm

An fünf aneinanderfolgenden Tagen wurde je zweimal trainiert, vormittags 1o Minuten und nachmittags 2o Minuten. Der sechste Tag war als Ruhetag festgesetzt, am siebenten Tag wurde die 1o-Minuten-Maximalleistung gemessen, nach der die Trainings-soll-Leistung für die nächste Trainingswoche berechnet wurde. Das Training und die Tests fanden für alle Versuchspersonen jeweils vormittags und nachmittags zu derselben Zeit statt.

2.2.5. Trainingssoll-Leistungen

Vor Beginn des Versuches wurde in Berlin die 1o-Minuten-Maximalleistung gemessen und gleich 1oo% gesetzt. Danach errechnete sich die Trainingssoll-Leistung für die erste Trainingswoche wie folgt:
Gruppe H trainierte vormittags 1 mal 1o Minuten mit 75% der 1o-Minuten-Maximalleistung und nachmittags 1 mal 2o Minuten mit 65% der doppelten 1o-Minuten-Maximalleistung. Bei der Berechnung wurde ein Leistungsabfall von 5% berücksichtigt, der der durch die 2.ooo m Höhe geminderten Leistung entspricht (H. Mellerowicz und W. Meller).
Gruppe M trainierte vormittags 1 mal 1o Minuten mit 8o% der 1o-Minuten-Maximalleistung und nachmittags 1 mal 2o Minuten mit 7o% der doppelten 1o-Minuten-Maximlaleistung. Für die folgenden Trainingswochen wurde jeweils die Leistung beim 1o-Minuten-Maximaltest am 7. Tag als Ausgangspunkt (=1oo%) für die Berechnung der Trainingssoll-Leistung der nächsten Woche genommen:

Beide Gruppen: Vormittags 1 mal 1o Minuten mit 8o% der 1o-Minuten-Maximalleistung und nachmittags mit 7o% der doppelten 1o-Minuten-Maximalleistung.

Die 1o-Minuten-Maximalleistung wurde im Abstand einer Woche jeweils an demselben Wochentag zwischen 1o-12 Uhr bestimmt, wobei die Reihenfolge der Versuchspersonen immer die gleiche war. Die anderen Vpn. waren jeweils bei einem Test nicht im Testraum. Das Ergebnis des eigenen Tests und die Ergebnisse der anderen Vpn wurde den Vpn erst nach Ende des letzten Tests bekannt gegeben.

Die Ergometer wurden vor jedem Test geeicht. Bei Tests auf dem Laukner - Ergometer wurde die Leistung (Watt/min.) aus Umdrehungszahl und Eichkurve abgelesen. Bei Tests auf dem Monark-Ergometer errechnete sich die Leistung aus der an einem zusätzlich angebauten Umdrehungszähler abgelesenen Umdrehungszahl und dem fest eingestellten Bremsgewicht (kp). Vor dem ersten Maximaltest wurde für jede Versuchsperson die Sitzposition individuell festgelegt, gemessen und bei den folgenden Leistungsmessungen wieder eingestellt. Ein dreiminütiges Aufwärmen (je eine Minute mit 1oo, 2oo, 3oo Watt) und danach eine dreiminütige Pause gingen jedem Test voraus.

Von den Sportärzten und Sportlehrern, die Training und Tests überwachten, ist darauf geachtet worden, daß die standardisierten Leistungsumsatzbedingungen (H. Mellerowicz) eingehalten wurden.

Nachdem von den Versuchspersonen in den ersten fünf Minuten als Testsoll die mittlere maximale Durchschnittsleistung (Watt/min.) des letzten Maximaltests geleistet worden war, sollten die Vpn in den zweiten fünf Minuten die Leistung (Zahl der Umdrehungen/min.) allmählich und gleichmäßig steigern.

2.3. Umweltfaktoren

Es wurde darauf geachtet, daß während des Versuchs folgende Umweltfaktoren möglichst gleich und konstant gehalten wurden:

2.3.1. Ernährung und Genußmittel

Die Nahrung der Vpn wurde von den begleitenden Ärzten auf ihren Kaloriengehalt und ihre Zusammensetzung geprüft und gegebenenfalls so geändert, daß die Vpn der beiden Gruppen möglichst qualitativ und quantitativ gleich ernährt wurden. Zusätzlich wurde jeden Morgen nach dem Aufstehen und Aufsuchen der Toilette das Körpergewicht gewogen. An Genuß - mitteln waren den Vpn täglich höchstens fünf Zigaretten und zwei Flaschen Bier erlaubt.

2.3.2. Unterkunft

Die beiden Vpn einer Gruppe bewohnten jeweils ein Doppelzimmer zusammen.

2.3.3. Freizeit und Schlaf

Die Vpn hatten sich schriftlich zu folgender Freizeit- und Schlafregelung verpflichtet: In der Freizeit waren Spaziergänge, tägliches Baden bis maximal 15 Minuten erlaubt; tägliches Sonnenbaden mit entblößtem Oberkörper bis maximal 15 Min; verboten waren dagegen anstrengende Bergwanderungen oder Touren, schnelles und mit Anstrengung verbundenes Schwimmen sowie überhaupt jede körperliche Anstrengung. Die Vpn hatten sich dazu verpflichtet, eine Nachtruhe von 23.oo bis 7.oo Uhr und eine einstündige Mittagsruhe einzuhalten. Die Begleitpersonen stellten keinen Bruch der Verpflichtungen fest.

2.3.4. Betreuung

Je ein Arzt, ein Sportlehrer und eine MTA betreuten eine Gruppe, überwachten Training und Tests sowie die Einhaltung der während des Versuches vorgeschriebenen Lebensgewohnheiten.

2.3.5. Luftdruck und Lufttemperatur bei Training und Tests.

Während der Trainingsperiode wurden die Lufttemperaturen und der Luftdruck bei den Maximaltests und dem Training registriert:
Durchschnittswerte:

1973:	Gruppe H	- 22,5 C,	599 mm Hg
	Gruppe M	- 24,8 C,	765 mm Hg
1974:	Gruppe H	- 21,1 C,	583 mm Hg
	Gruppe M	- 21,1 C,	758 mm Hg

2.4. Blutuntersuchungen

Vor und nach der vierwöchigen Trainingsperiode wurde den Vpn Blut abgenommen.

2.4.1. Termine der Blutentnahme

Jeweils in der Woche vor der Abreise zum Trainingsort und einen bzw. zwei Tage nach der Rückreise fanden die Blutentnahmen am Morgen vor dem Frühstück statt.

2.4.2. Technik der Blutentnahme

Das Blut wurde bei allen vier Probanden durch Punktion einer Armvene gewonnen. Vor der Blutentnahme lagen die Probanden 15 Minuten.

2.4.3. Methodik der Blutuntersuchungen

2.4.3.1. Das Blutbild (2.4.3.1.1.- 2.4.3.1.7.) wurde im Labor des Insitutes für Sozialmedizin und Epidemiologie (Bereich klinische Chemie) des Bundesgesundheitsamtes Berlin (Leiter Prof. Dr. H. Hoffmeister) ausgewertet. Die Bestimmung erfolgte mit einem Coulter-Counter Modell S. Dieses Gerät arbeitet nach dem Coulter-Prinzip (Coulter). Partikel, die in einem elektrisch leitfähigen Elektrolyten suspendiert sind, werden durch eine Kapillare gesogen. Anzahl und Größe der entsprechenden Impulse sind direkt proportional der Anzahl und Größe der vorhandenen Zellen. Die unten (2.4.3.1.1. - 7.) genannten Normalwerte für Männer entsprechen den Angaben der Herstellerfirma auf den Auswertungsbögen. Diese beruhen auf einer Arbeit von Wintrobe, der anhand eigener Untersuchungen (229 gesunde Studenten und Studentinnen) und Auswertung der Ergebnisse anderer Untersucher (die Größe der Versuchskollektive lag zwischen 3o3 und 538 untersuchten Individuen) Mittelwerte und Normalbereiche für Männer und Frauen berechnete. Dabei sollen nach seinen Angaben 92,2 - 98% der normalen Individuen im Bereich der von ihm genannten Werte liegen.

2.4.3.1.1. u. 2.4.3.1.2.

Erythrozyten - und Leukozytenzählung

Die Anzahl der Erythrozyten und Leukozyten wurde nach dem oben beschriebenen Coulter - Prinzip bestimmt. Die Normal - werte für Männer liegen zwischen 4,6 und 6,2 Mill./mm^3 , bzw. 4.8oo und 1o.8oo / mm^3. Die Präzision von Tag zu Tag wird angegeben mit ± o,2 Mill. bzw. ± 6oo/ mm^3.

2.4.3.1.3. Hämoglobinbestimmung

Der Hämoglobingehalt wurde mit einem Hämoglobinometer be - stimmt (Prospekt Coulter - Counter S). Der Normalwert liegt zwischen 14 und 18 g%. Die Präzision von Tag zu Tag wird angegeben mit ±o,2g%.

2.4.3.1.4. Hämatokritbestimmung

Der Hämatokrit wurde von dem Gerät aufgrund der Leitfähigkeit bestimmt. Der Normalwert liegt zwischen 42 und 52%. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 2,6% angegeben.

2.4.3.1.5. Bestimmung des mittleren Erythrozytenvolumens

Nach dem Coulter-Prinzip (Coulter) wird die Partikelgröße bestimmt. Der Computer addiert die gesammelten Impulse und teilt die Summe durch die Anzahl der Impulse. Der Normalwert liegt zwischen 8o und 94 μ^3. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 8,2 μ^3 angegeben.

2.4.3.1.6. Bestimmung des mittleren Hämoglobingewichtes eines Erythrozyten.

Das mittlere Hämoglobingewicht eines Erythrozyten wird von dem in das Gerät integrierten Computer aus dem Hämoglobingehalt und der Erythrozytenzahl wie folgt errechnet:

$$x \cdot 10^{-6} g = x \cdot pg = \frac{g\ Hb\ /\ 1}{Ery\ (Millionen/\ mm^3}$$

Der Normalwert liegt zwischen 27 und 31 pg. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 1,4 pg angegeben.

2.4.3.1.7. Bestimmung der mittleren Hämoglobinkonzentration in einem Erythrozyten

Der Wert wird von dem in das Gerät integrierten Computer wie folgt errechnet:

$$x \cdot \% = \frac{Hb\ (g\%)}{Hkt\ (g\%)}$$

Der Normalwert liegt zwischen 32 und 36%. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 2,2% angegeben.

2.4.3.2. Die Serumkonzentration von 4.3.2.1. - 18.

wurde auch im Institut für Sozialmedizin und Epidemiologie (Bereich klinische Chemie) des Bundesgesundheitsamtes Berlin (Leiter Prof. Dr. H. Hoffmeister) bestimmt. Die Bestimmung wurde mit einem Autoanalyzer (Technikon SMA 6 für 4.3.2.1.-6., bzw, SMA 12 für 4.3.2.7.-18.) vorgenommen. Die unten angegebenen Normalwerte (2.4.3.2.1.-18) beruhen auf einer bisher unveröffentlichten Arbeit von Junge aus dem Institut für Sozialmedizin und Epidemiologie des Bundesgesundheitsamtes Berlin. Er gibt für die einzelnen Serumkonzentrationen als Normalwerte die 97,5 bzw. 2,5 Perzentile (nach manueller Korrektur der Häufigkeitsverteilung) von 643 Männern (36 - 65 Jahre) des Ortes Wisbach an.
Die einzelnen Bestimmungen werden nach folgenden Methoden durchgeführt.

2.4.3.2.1. Natrium

Die Natrium-Ionen wurden flammenphotometrisch (mittlere Flammentemperatur 195o Grad) bei 589 nm gemessen. Der Normalwert liegt zwischen 139 - 148 mmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 6 mmol angegeben.

2.4.3.2.2. Kalium

Die Kalium-Ionen wurden flammenphotometrisch (mittlere Flammentemperatur 195o Grad) bei 768 nm gemessen. Der Normalwert liegt zwischen 3,9 - 5,4 mmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± o,4 mmol angegeben.

2.4.3.2.3. Chlor

Die Cl-Konzentration wurde nach der Methode von L. T. Skeggs jr. und Hochstrasser bestimmt. (Die Absorption des Reaktionsproduktes wird bei 48o nm gemessen). Der Normalwert liegt zwischen 98 - 1o8 mmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 4 mmol angegeben.

2.4.3.2.4. Kohlendioxyd

Modifiziert nach L.T. Skeggs jr., und Hochstrasser wurde die CO_2 - Konzentration bestimmt. (Im Photometer wird die Absorption des Reaktionsproduktes von CO_2 und Reaktionssubstanz bei 42o nm gemessen). Der Normalwert liegt zwischen 23- 32 mmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 4 mmol angegeben.

2.4.3.2.5. Harnstoff

Die Harnstoffkonzentration wurde modifiziert nach Walton H. Marsh et al. bestimmt. (Das farbige Reaktionsprodukt einer leicht angesäuerten Harnstofflösung mit Diacetyl-monoxym wird nach Beigabe von Thiosemicarbazid und Eisen-Ionen und Erhitzung auf 9o Grad bei 52o nm im Photometer gemessen). Der Normalwert liegt zwischen 3,4 - 8,2 mmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± o,8 mmol angegeben.

2.4.3.2.6. Glucose

Die Methode der Glucosebestimmung stellt eine Modifikation der Methoden von M.E. Brown und D. Bittner und M. McCleary dar. (Die Absorption des farbigen Reaktionsproduktes von Glucose und einem Kupfer-Chelat wird nach Erhitzen auf 9o Grad bei 46o nm im Photometer gemessen). Der Normalwert liegt zwischen 4 - 6 mmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± o,6 mmol angegeben.

2.4.3.2.7. Gesamt-Eiweiß

Bei der Bestimmung des Gesamt-Eiweißes wird die Absorption des Produktes einer modifizierten Biuret-Reaktion bei 55o nm im Photometer gemessen. Der Normalwert liegt zwischen 69 - 82 g/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 4 g/l angegeben.

2.4.3.2.8. Albumin

Die Bestimmung des Albumin basiert auf einer quantitativen Bindungsreaktion der anionischen Farbe 2-(4-hydroxyazobenol) Benzosäure (HABA) speziell zu Serumalbumin. Sie basiert auf einer Arbeit von A.J. Ness et al., der die Originalmethode von D.D. Rutstein, et al. modifizierte.

Diese Methode wurde von H.H. Nishi und A. Rhodes für den Gebrauch im Autoanalyzer modifiziert. Die Absorption von der HABA-Albumin-Bindung wird bei 505 nm im Photometer gemessen. Die Normalwerte liegen zwischen 39 - 51 g/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 4 g/l angegeben.

2.4.3.2.9. Anorganisches Phosphat

Die Bestimmung des anorganischen Phosphates basiert auf Arbeiten von R.O. Hurst und M. Kraml: Nach Zugabe von 1% H_2SO_4 wird das Phosphat mit Amoniummolybdat umgesetzt und dann von Chlorohydrazin reduziert. Die Absorption wird im Photometer bei 660 nm gemessen. Der Normalwert bei dieser Methode ist 0,8 - 1,45 mmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 0,2 mmol /l. angegeben.

2.4.3.2.10. Gesamt-Cholesterin

Die Gesamt-Cholesterin-Bestimmung basiert auf einer von Huang et al. modifizierten Lieberman-Burchard-Reaktion. Die Absorption des Umsetzungsproduktes wird im Photometer bei 630 nm gemessen. Der Normalwert liegt zwischen 4,3 - 8 mmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 0,8 mmol/l. angegeben.

2.4.3.2.11. Harnsäure

Die Methode der Harnsäurebestimmung basiert auf einer Arbeit von A.W. Musser und C. Ortigoza, der die Original - methode von M. Sobrino-Simoes für den Gebrauch im Autoanalyzer modifizierte. Das Serum wird mit NaCl und dann mit einer Natrium-Wolfram-Hydroxylaminlösung umgesetzt. Die Absorption des Umsetzungsproduktes wird nach Zugabe von Wolframphophat im Photometer bei 660 nm gemessen. Der Normalwert liegt zwischen 180 - 390 µmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 20 µmol angegeben.

2.4.3.2.12. Kreatinin

Die Kreatininbestimmung wird mit Hilfe der von D.L.Stevens und L.T. Skeggs und A.L. Chasson, H.T. Grady und M.A. Stanley für die Automatisation modifizierten Jaffe-Reaktion vorgenommen. (Die Absorption des bei der Umsetzung von Kreatinin und Pikrinsäure im Alkalischen entstehende Produkt wird bei 505 nm im Photometer gemessen). Der Normalwert liegt zwischen 50 - 100 µmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 40 µmol/l. angegeben.

2.4.3.2.13. Gesamtbilirubin

Die Bestimmung des Gesamtbilirubins basiert auf den Arbeiten von L. Jendrassik und P. Grof und S.R. Gambino und H. Schreiber. Bei 600 nm wird die Absorption des nach Um-

satz mit diazotierter Sulfanilsäure entstehenden alkalisierten Azobilirubin im Photometer gemessen. Der Normalwert liegt zwischen 2 - 15 µmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 4 µmol/l angegeben.

2.4.3.2.14. Alkalische Phosphatase

Die Bestimmung der alkalischen Phosphatase beruht auf der Methode von S. Morgenstern et al., die eine Modifikation der Methode von Bessey, et al. darstellt. (Die Absorption des aus p-nitrophenylphosphat durch enzymatische Hydro - lyse entstehenden, unter alkalischen Bedingungen stark gefärbten, p-nitrophenol wird im Photometer bei 41o nm gemessen.) Der Normalwert liegt zwischen 3o - 8o IE/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 1o IE/l angegeben.

2.4.3.2.15. Creatin-Phosphokinase (CPK)

Die Bestimmung der CPK beruht auf einer Arbeit von A.L. Siegel und P.S. Cohen, die sich der Reaktion von CPK und ADP in ATP und Creatin bedienen (unter Zusatz von Mercaptoäthanol und N-äthylmaleimid (NEM) entsteht eine starke Farbe, deren Absorption im Photometer bei 52o nm gemessen wird). Der Normalwert liegt zwischen 5o - 17o IE. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 4o IE/l angegeben.

2.4.3.2.16. Lactat-Dehydrogenase(LDH)

Die Bestimmung der LDH beruht auf einer Methode von S. Morgenstern, R. Flor, G. Kessler und B. Klein, die von G. Kessler, R. Rush et al. für die Automation modifiziert wurde. Sie bedienen sich dabei der von der LDH katalysierten Reaktion von Lactat und NAD in Pyruvat und NADH; die Absorption des NADH wird im Photometer bei 34o nm gemessen. Der Normalwert liegt zwischen 12o und 2oo IE/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 2o IE/l angegeben.

2.4.3.2.17. Glutamat-Oxalacetat-Transaminase (GOT)

Die Methode der GOT -Bestimmung wurde von R.L. Rush et al. beschrieben und ist in Anlehnung an die Methode von J. B. Levine und J.B. Hill entstanden. Dabei wird im Photometer bei 34o nm die Abnahme der Absorption von NADH gemessen (GOT katalysiert die Reaktion von Aspartat und Alpha - Ketogluterat in Oxalacetat und Glutamat; Malatdehydrogenase setzt das Oxalacetat und nicht absorbierendes NADH in Malat und nichtabsorbierendes NAD um). Der Normalwert ist 1o - 4o IE/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± 2o IE/l angegeben.

2.4.3.2.18. Kalzium

Die Kalzium-Ionen Bestimmung ist eine von H.J. Gitelman

vorgenommene Modifikation der Methode von G. Kessler und M. Wolfram. (Dabei geht Ca nach Vorbehandlung mit hydrochloriger Säure und 8-Hydroxyquinolin mit Cresolphtalein einen Farbstoffkomplex ein, dessen Absorption im Photometer bei 57o nm gemessen wird). Der Normalwert liegt zwischen 2,2 und 2,7 mmol/l. Die Präzision von Tag zu Tag wird mit ± o,2 mmol/l angegeben.

'.5. Bewertung der Ergebnisse

Einerseits bedeutet die Untersuchung an eineiigen Zwillingen, bei der Schwierigkeit geeignete Probanden zu finden, eine Beschränkung auf eine kleine Anzahl von Versuchspersonen und damit einen Verzicht auf eine statistische Signifikanzberechnung; andererseits bedingt die annähernde Gleichheit der Vpn in den Vergleichsgruppen einen größeren Aussagewert auch kleinerer Versuchskollektive: Ergebnisse aus vergl. Untersuchungen mit eineiigen Zwillingen, die außerhalb der Fehlerbreite der Methode liegen, können als deutlicher Hinweis auf eine Heterogenität gewertet werden, auch wenn sie statistisch nicht signifikant unterschiedlich sind. Deshalb wurde folgendermaßen bei der Auswertung der Ergebnisse verfahren:

1.) Unterschiede der Mittelwerte vor und nach der Trainingsperiode innerhalb einer Gruppe, Gruppenunterschiede in den Mittelwerten und Unterschiede der Gruppen in den Verschiebungen während der Trainingsperiode wurden darauf geprüft, ob sie außerhalb der Fehlerbreite der Methode liegen.

2.) Zugrunde gelegt wurden die Werte, die von dem die Analysen ausführenden Labor als Präzision von Tag zu Tag angegeben werden. Bei der Auswertung mit dem Coulter Counter S entspricht dies dem ± 2s-Bereich. Die Präzision von Tag zu Tag wird zum Teil im Bereich der Norm, zum Teil im Bereich pathologisch erhöhter Werte angegeben. Da der Fehler der Methode in Bereichen pathologisch erhöhter Werte eher größer als im Normbereich ist, wird die Aussagekraft dadurch nicht beeinträchtigt, zumal keiner der gefundenen Werte oberhalb des Bereiches liegt, für die die Präzision von Tag zu Tag vorliegt.

3.) Bis auf drei Ausnahmen sind die Mittelwerte der Gruppen vor dem Training im oben genannten Sinn nicht heterogen. Das unterstreicht die Aussagekraft von Untersuchungen mit einem kleinen Kollektiv eineiiger Zwillinge.

4.) Im Fall der alk. Phosphatase (siehe Tab. 1o), des Hämoglobins (siehe Tab. 3) und des Kaliums (siehe Tab.12) waren die Unterschiede der Mittelwerte vor dem Training so groß, daß sie außerhalb der Fehlerbreite der Methode liegen. Da die übrigen Ergebnisse

das angenommene Gleichheitspostulat bestätigen, wurde in diesen Fällen die Annahme vorrausgesetzt, daß, wenn auch unterschiedliche biochemische Ausgangspositionen bestehen, die Vpn in beiden Gruppen unter gleichen Bedingungen gleich und unter ungleichen Bedingungen ungleich rea - gieren. Deshalb wurde je der Mittelwert der Gruppe vor der Trainingsperiode gleich Hundert gesetzt und die Veränderungen im Laufe des Versuches in Prozent davon ausgedrückt.
Veränderungen in einer Gruppe und Gruppenunterschiede wurden daraufhin geprüft, ob sie außerhalb der in Prozent ausgedrückten Fehlerbreite der Methode liegen.

3. Ergebnisse und Beurteilung

3.1. Sauerstofftransportkapazität im Blut

3.1.1. Erythrozyten

3.1.1.1. Ergebnis

Die Zahl der Erythrozyten stieg in der Gruppe H von durchschnittlich 5,28 Mio/mm^3 vor dem vierwöchigen Training auf 5,36 Mio/mm^3 nach dem Training; in der Gruppe M fiel die Zahl der Erythrozyten von durchschnittlich 5,22 Mio/mm^3 (Mittelwert von 3 Werten, da bei He. J. der zweite Wert wegen eines Fehlers des Coulter - Counters fehlt) auf 5,18 Mio/mm^3 (Tab. 2).
Der durchschnittliche Anstieg von o,o8 Mio/mm^3 in der Gruppe H entspricht ca. 1,5%, der durchschnittliche Abfall von - o,o2 Mio/mm^3 in der Gruppe M entspricht ca. - o,4%. Die Veränderungen innerhalb der Gruppe liegen im Bereich des methodischen Fehlers. Der Unterschied der Mittelwerte nach dem Training entspricht der Fehlerbreite der Methode. Es kann also nicht ausgeschlossen werden, daß der Unterschied nur methodisch bedingt ist.

3.1.1.2. Beurteilung

F. Viault fand 189o, daß längerer bzw. dauernder Höhen - aufenthalt zu einer Polycythämia sekundaria führt. H. Roskamm et al. fanden bei akuter Höhenexposition auf 1.8oo m im Durchschnitt keinen Anstieg der Erythrozytenzahl am ersten und zweiten Tag nach der Ankunft, bei akuter Höhenexposition auf 2.24o m einen Anstieg der Erythrozyten um 1o%; diesselben Untersucher fanden am Ende eines vier - wöchigen Aufenthaltes in 2.24o m Höhe einen signifikanten bis hochsignifikanten Anstieg ($o,oo5 > P > o,oo1$) der Erythrozyten gegenüber den Freiburger Ausgangswerten von 7,5 bzw. 9,8%.

H.E. Weidemann fand bei verschiedenen Untersuchungen am

Tab. 2

Erythrozyten in Mio/mm^3

	Name	1. vor dem Training	2. nach dem Training	Differenz 1.-2.	Differenz in %
1973	He.Kl.+	5,16	5,41	+ o,25	ca. + 4,8%
	He.J.	5,27	Wert fehlt	- - - - -	----------
	Ni.Be.+	5,22	5,48	+ o,26	ca. + 5,o%
	Ni.Pe.	5,19	5,21	+ o,o2	ca. + o,4%
1974	Ni.Pe.+	5,47	5,47	o	o
	Ni.Be.	5,29	5,27	- o,o2	ca. - o,4%
	Wi.Be.+	5,28	5,o9	- o,21	ca. - 3,8%
	Wi.H.	5,12	5,o6	- o,o6	ca. - 1,2%
	Gruppe H+	5,28	5,36	o,o8	ca. + 1,5%
	Gruppe M	5,22	5,18	o,o2	ca. - o,4%

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m Höhe.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.
In der Gruppe M lagen nur drei Werte den Berechnungen zugrunde.

zweiten bis dritten Tag in der Höhe (1.8oo bzw. 2.24o m) zum Teil unveränderte, zum Teil um 8,9% angestiegene Erythrozytenzahlen gegenüber einer Ausgangshöhe von 26o m; während einer vierwöchigen Akklimatisation in 1.8oo m bzw. 2.24o m beobachtete derselbe Untersucher in der einen Gruppe nach der Ankunft einen Anstieg der Erythrozytenzahl um 11,2% (p = o,oo1), dem ein signifikanter Rückgang der Erythrozytenzahl folgte mit Werten um 2,2% über dem Ausgangswert am 1o. Tag; am Ende der Beobachtung lagen die Werte wieder 7,5% (p = o,o5) über den Ausgangswerten; in der anderen Gruppe fand er um 8,9% (p = o,oo1) erhöhte Erythrozytenzahlen während der gesamten vier Wochen. Weidemann setzte seine Vpn zum Teil Steady-State-Belastungen, zum Teil Vita Maxima-Belastungen aus. H.C. Hurtado et al. beobachteten bei akuter Höhenexposition bei 2.39o m bzw. 4.835 m einen Erythrozytenzahlanstieg von o,2 bzw. 2,5%; bei chronischer Höhenexposition fand er parallel zur Hämoglobinzunahme Anstiege um = 3o% (in 4.45o m).

F. Verzar und W. Voegtli beobachteten in den ersten Tagen in 3.45o m, daß nicht immer mit einem Anstieg der Erythrozyten zu rechnen ist, sondern daß u.U. zuerst eine Abnahme erfolgt. Dies trat vor allem ein, wenn die Vpn körperliche Arbeit leisteten; dieselbe Arbeit bei denselben Personen konnte im Tiefland diese Reaktion nicht auslösen. Allgemein wird der initiale Anstieg der Erythrozyten als Folge der Hämokonzentration gesehen; schon einige Stunden der Hypoxiewirkung (bei 2.ooo m Höhe ist bei einem Luftdruck von 596 mm Hg der PO_2 in der Trachea 115 gegenüber einem PO_2 in der Trachea in Meereshöhe und 76o mm Hg von 149. In Meereshöhe führt der normalerweise vorliegende alveoläre PO_2 um 1oo mm Hg zu einer 96-97%-igen Sättigung des arteriellen Blutes. In 2.ooo m Höhe ist der tatsächliche alveoläre PO_2 um 75 mm Hg, d.h. die Sauerstofflage entspricht einer Beatmung bei 76o mm Hg mit 16% O_2 - normal bei 76o mm Hg 2o,9% O_2 -) sollen nach Reynafarje (5 x Anstieg, 7 x Abfall) und W.E. Siri et al. eine erhöhte erythropoetische

Aktivität bewirken. Der mögliche Abfall der Erythrozyten in den ersten Tagen des Höhenaufenthaltes wird als gesteigerte Hämolyse weniger resistenter Erythrozyten gedeutet (W. Wilbrandt und E. Hermann, F. Verzar, A. Muralt). Andererseits fanden L. Heilmeyer et al., daß während des Höhenaufenthaltes der Zerfall von Erythrozyten vermindert ist, und zwar am stärksten in der ersten Woche. Nach der Abfahrt ins Tiefland trat eine Steigerung des Blutzerfalls in einigen Fällen sogar über die Norm ein. C. F. Merino und C. Reynafarje et al. fanden, daß bei Höhenbewohnern mit einer Polyzythämie der Hämolyseindex normal sei.

Die vorliegende Untersuchung an eineiigen Zwillingen zeigt ein geringfügiges Steigen der Erythrozytenzahl nach 4 - wöchigem Aufenthalt in 2.ooo m; wenn auch von dem Zeitpunkt der ersten meßbaren Veränderungen und der Höhe der Veränderungen kein einheitliches Bild vorhanden ist, muß doch allgemein mit einer durch Hypoxie induzierten gesteigerten Erythropoese gerechnet werden. Das Ausmaß hängt sicher neben dem Grad der Hypoxie auch von den individuellen Eigenschaften, wie der osmotischen Resistenz der Erythrozyten ab.

Ein spezifisches Verhalten der Erythrozytenzahlen beim Training in der Höhe lassen die in dieser Arbeit vorliegenden Ergebnisse nicht erkennen. Ein Vergleich mit anderen Arbeiten gelingt nicht, weil die anderen Untersucher ihre Vpn ganz unterschiedlichen, zum Teil keinen im Sinne einer Mehrbelastung wirkenden Tätigkeit ausgesetzt haben, oder zumindest die Vergleichsgruppe nicht in der gleichen Weise trainiert haben.

Ein Zusammenhang zwischen der Leistungssteigerung durch Höhentraining, die erheblich höher ist, als bei gleichem Training in Meereshöhe, und den Erythrozytenzahlen kann nicht festgestellt werden, da sich die gefundenen Veränderungen in den Rahmen der normalen Höhenanpassung im Sinne einer Gleichgewichtseinstellung zwischen gesteigerter oder verminderter Hämolyse einerseits und Hämokonzentration und gesteigerter Erythropoese andererseits einfügen.

3.1.2. Hämoglobin

3.1.2.1. Ergebnis

Der Hämoglobingehalt stieg in der Gruppe H von durchschnittlich 15,8o**g%** vor dem Training auf 16,27g% nach dem Training; in der Gruppe M fiel der Wert von durchschnittlich 15,6o auf 15,57 g% ab (Tab 3). Der durchschnittliche Anstieg des Hämoglobins von o,47 g% in der Gruppe H entspricht ca. 2,9%, der durchschnittliche Abfall in der Gruppe M von o,o3 g% ca. o,1%(Tab. 3).

Die Veränderungen während des Versuches innerhalb der Gruppe H und die Gruppenunterschiede liegen außerhalb des Bereiches des methodischen Fehlers. Ein Vergleich der Differenz der Hämoglobinwerte zwischen den jeweils in der Höhe und auf Meeresebene trainierten Zwillingen zeigt eine Zunahme des Hämoglobins in 3 von 4 Fällen beim Höhentrainierten, wohingegen beim in Meereshöhe trainierten Zwilling in zwei Fällen der Hämoglobinwert abnahm und in einem Fall der Hämoglobinwert geringer als beim höhentrainierten Zwilling stieg.

3.1.2.2. Beurteilung

A. Hurtado et al. beobachtete, daß bei akuter Höhenbelastung von 4.835 m der Hämoglobingehalt um 2,9%, bei chronischer Höhenbelastung um 3o% (insgesamt um 91%, da auch das Blutvolumen zugenommen hatte) stieg.
H. Roskamm et al. berichten, bei Untersuchungen an Hoch - leistungssportlern in 2.24o m Höhe in den ersten Tagen nach der Ankunft im Durchschnitt keinen Anstieg des Hämoglobins beobachtet zu haben; nach vierwöchigem Aufenthalt fanden sie Anstiege um 14,5 - 15,5%.

H.E. Weidemann beobachtete bei kurzzeitiger Höhenexposition (am 2. bzw. 3. Tag nach der Ankunft) im Durchschnitt keinen Unterschied des Hämoglobin-Gehaltes zu den Ausgangswerten in 26o m, bei vierwöchigem Aufenthalt in 1.8oo m einen Anstieg des Hämoglobins um 2,2 % und bei vierwöchigem Aufenthalt in 2.24o m hochsignifikante Anstiege bis 14,5 bzw. 14,5%.

Tab. 3

Hämoglobingehalt vor und nach dem Training
in g%

	Name	1. vor dem Training	2. nach dem Training	Differenz 1.-2.	Differenz in %
1973	He.Kl.+	14,5	15,2	+ o,7	ca. + 5%
	He.J.	14,7	14,5	- o,2	ca. - 1,5%
	Ni.Be.+	15,8	16,5	+ o,7	ca. + 4%
	Ni.Pe.	15,9	15,4	- o,5	ca. - 3%
1974	Ni.Pe+	16,8	17,5	+ o,7	ca. + 4%
	Ni.Be.	16,3	16,6	+ o,3	ca. + 2%
	Wi.Be.+	16,1	15,9	- o,2	ca. - 1,3%
	Wi.H.	15,5	15,8	+ o,3	ca. + 2%
	Gruppe H+	15,8	16,27	+ o,47	ca. + 2,9%
	Gruppe M	15,6	15,57	- o,o3	ca. - o,1%

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Schon in Meereshöhe steigt bei Belastung das Hämoglobin an (M. Eckoldt et al.); dadurch wird eine größere Sauerstofftransportkapazität geschaffen.

Die in der vorliegenden Untersuchung an eineiigen Zwillingen beobachteten Hämoglobin-Anstiege um ca. 3% nach vierwöchigem Training in 2.o5o m liegen im Rahmen der Ergebnisse anderer Untersucher. Eine Verbindung zwischen der nach W. Meller et al. gesteigerten Leistungsfähigkeit durch Höhentraining, die erheblich über der Steigerung bei gleichem Training in Meereshöhe liegt, und dem Anstieg des Hämoglobins kann nicht beobachtet werden, da die bei der Untersuchung gewonnenen Ergebnisse der normalen Reaktion auf die in 2.ooo m Höhe vorhandene Hypoxie und somit einer normalen Anpassung an eine Höhenexposition entsprechen.

3.1.3. Hämatokrit

3.1.3.1. Ergebnis

Der Hämatokrit stieg in der Gruppe H durchschnittlich von 45,85% vor dem Training auf 47,73% nach dem Training, in der Gruppe M von durchschnittlich 45,35 auf 46,1%. Der durchschnittliche Anstieg des Hämatokrits von 1,88% in der Gruppe H entspricht ca. 4%, der durchschnittliche Anstieg in der Gruppe M von o,75% ca. 1,7% (Tab. 4).
Die Veränderungen innerhalb der Gruppe und die Gruppenunterschiede liegen im Bereich der Fehlerbreite der Methode.

3.1.3.2. Beurteilung

H. Roskamm et al. beobachteten nach vier Wochen Aufenthalt in 2.24o m einen Anstieg des Hämatokrits um 8,7 bzw. 7,1%. H.E. Weidemann berichtet, daß er zu Beginn einer vierwöchigen Akklimatisation in 2.24o m einen wahrscheinlich signifikanten (95% Wahrscheinlichkeit) Anstieg des Hämatokrits um 4,3% am Ende der Beobachtung einen hochsignifikanten Anstieg (99,9%) um 8,7% gegenüber dem Ausgangswert

Tab. 4

Hämatokrit vor und nach dem Training

in %

	Name	1. vor dem Training	2. nach dem Training	Differenz 1.-2.	Differenz in %
1973	He.Kl.+	42,4	44,2	+ 1,8	ca. + 4%
	He.J.	43,6	43,1	- o,5	ca. - 1,1%
	Ni.Be.+	46,2	49,6	+ 3,4	ca. + 7,5%
	Ni.Pe.	46,o	46,3	+ o,3	ca. + o,7%
1974	Ni.Pe.+	48,3	49,9	+ 1,6	ca. + 3,4%
	Ni.Be.	47,o	48,2	+ 1,2	ca. + 2,6%
	Wi.Be.+	46,5	47,2	+ o,7	ca. + 1,5%
	Wi.H.	44,8	46,8	+ 2,o	ca. + 4,5%
	Gruppe H+	45,85	47,73	+ 1,88	+ 4%
	Gruppe M	45,35	46,1	+ o,75	+ 1,7%

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.

Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

in 26o m fand. H. Westergaard et al. beobachteten am Ende einer 8-tägigen Höhenexposition von 3.45o m einen Hämatokritanstieg von 5%. Während Belastung kommt es normalerweise auch in Normoxie zu einem Anstieg des Hämatokrits und des Hämoglobins (Roskamm et al. in Leistung und Höhe, 1968). H.E. Weidemann untersuchte diesen Vorgang unter Hypoxiebedingungen und beobachtete, daß diese Hämatokritanstiege, die im Sinne einer Hämokonzentration gedeutet werden, unabhängig von der Höhe sind.

Der Hämatokrit stieg bei der vorliegenden Untersuchung in der Gruppe mit Höhentraining in 2.ooo m um ca. 4% an. Dieser Anstieg liegt im Bereich der Werte der anderen Untersucher.

Der Hämatokrit als Verhältnis von Zellvolumen zu Plasma - volumen steigt bei Erhöhung des Zellvolumens bzw. Verminderung des Plasmavolumens. Durch den Hypoxiereiz wird über eine Erythropoesesteigerung die Erythrozytenmasse und damit das Zellvolumen und der Hämatokrit vergrößert. Das Plasmavolumen dagegen wird in der Höhe unverändert (E.J. van Liere und J.C. Stickney) oder leicht vermindert (H. Westergaard et al.) gefunden.

3.1.4. Erythrozytenvolumen, mittleres Hämoglobingewicht eines Erythrozyten und mittlere Hämoglobinkonzentration in einem Erythrozyten.

3.1.4.1. Ergebnis

In der Gruppe H stieg das Erythrozytenvolumen von durch - schnittlich 87 auf durchschnittlich 89,5 μ^3, das mittlere Hämoglobingewicht von durchschnittlich 29,45 auf durch - schnittlich 29,9 pg, die mittlere Hämoglobinkonzentration fiel von durchschnittlich 34,o8 auf 33,8o % ab. In der Gruppe M stieg das Erythrozytenvolumen von durchschnittlich 87 auf durchschnittlich 88,5^3, das Hämoglobingewicht von durchschnittlich 29,5o auf durchschnittlich 29,55 pg, die

Hämoglobinkonzentration fiel von durchschnittlich 34,o5 auf durchschnittlich 33,6 % (Tab, 5, 6, 7).

Der mittlere Anstieg des Erythrozytenvolumens von 2,5 μ^3 in der Gruppe H entspricht 2,9%; in der Gruppe M entspricht der mittlere Anstieg von 1,5 μ^3 1,8%.

Die Anstiege des mittleren Hämoglobingewichtes um o,45 pg in der Gruppe H bzw. o,o5 pg in der Gruppe M entsprechen 1,5 bzw. o,2%. Das mittlere Absinken der Hämoglobinkon - zentration in der Gruppe H um o,275 bzw. in der Gruppe M um o,45% entsprechen - o,8 bzw. - 1,3%. Somit stieg in der Gruppe H prozentual das Erythrozytenvolumen stärker als das Hämoglobingewicht, so daß die Hämoglobinkonzentration geringfügig fiel, In der Gruppe M stieg ebenfalls das Volumen stärker als das Gewicht, so daß auch hier die Kon - zentration fiel. Diese Ungleichheit im Anwachsen ist in der Gruppe M ausgeprägter.
Im Vergleich der Gruppen ergab sich, daß bei allen drei untersuchten Eigenschaften der Erythrozyten weder die mittleren Differenzen der Werte vor dem Training noch die Mittelwerte nach dem Training außerhalb der Fehlerbreite der Methode unterschiedlich sind.

3.1.4.2. Beurteilung

H.E. Weidemann beobachtete nach vierwöchigem Aufenthalt in 2.24o m einen hochsignifikanten (p = o,oo1) Anstieg des Erythrozytenvolumens um 3%, einen Anstieg der mittleren Hämoglobinkonzentration von 5,7% (p = o,oo1) und einen Anstieg des Färbeindex (Hämoglobingewicht in einem Erythrozyten) um 7,2% (p = o,o5); in einer anderen Untersuchung fand derselbe Untersucher nach anfänglichem starkem Absinken des Erythrozytenvolumens dann einen kontinuierlichen Anstieg, so daß nach vier Wochen Hypoxie-Belastung von 2.24o m Höhe das Volumen nur noch 2,3% unter dem Ausgangswert lag; mittleres Hämoglobingewicht und mittlere Hämo -

Tab. 5

Erythrozytenvolumen

in μ^3

	Name	Volumen vor dem Training	Volumen nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	82	82	o	o
	He.J.	83	81	- 2	ca. - 2,5%
	Ni.Be.+	88	91	+ 3	ca. + 3,5%
	Ni.Pe	88	89	+ 1	ca. + 1,2%
1974	Ni.Pe+	89	92	+ 3	ca. + 3,4%
	Ni.Be.	89	92	+ 3	ca. + 3,4%
	Wi.Be.+	89	93	+ 4	ca. + 4,5%
	Wi.H.	88	92	+ 4	ca. + 4,5%
	Gruppe H+	87	89,5	+ 2,5	ca. 2,9%
	Gruppe M	87	88,5	+ 1,5	ca. 1,8%

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Tab. 6

Mittlere Hämoglobinkonzentration in einem Erythrozyten in %

	Name	Konzentration vor dem Training	Konzentration nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	33,4	33,7	+ o,3	ca. + 1%
	He.J.	33	33	o	o
	Ni.Be.+	33,6	32,5	- 1,1	ca. - 3,3%
	Ni.Pe.	34	32,7	- 1,3	ca. - 4%
	Ni.Pe.+	34,8	35,1	+ o,3	ca. + o,9%
	Ni.Be.	34,7	34,6	- o,1	ca. - o,3%
1974	Wi.Be.+	34,5	33,9	- o,6	ca. - 1,8%
	Wi.H.	34,5	34,1	- o,4	ca. - 1,2%
	Gruppe H+	34,o8	33,8	- o,275	ca. - o,8%
	Gruppe M	34,o5	33,6	- o,45	ca. - 1,3%

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.

Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Tab. 7

Mittleres Hämoglobingewicht in einem Erythrozyten in pg

	Name	Hb.-Gewicht vor dem Training	Hb.-Gewicht nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	27,2	27,1	- o,1	ca. - o,4%
	He.J.	27	26,4	- o,6	ca. - 2,2%
	Ni.Be.+	29,2	29,1	- o,1	ca. - o,3%
	Ni.Pe.	29,6	28,6	- 1,o	ca. - 3,3%
1974	Ni.Pe.+	3o,9	32	- 1,1	ca. + 3,7%
	Ni.Be.	31	31,5	+ o,7	ca. + 2,2%
	Wi.Be.+	3o,5	31,4	+ o,9	ca. + 3%
	Wi.H.	3o,4	31,5	+ 1,1	ca. + 3,7%
	Gruppe H+	29,45	29,9	+ o,45	ca. + 1,5%
	Gruppe M	29,5	29,55	+ o,o5	ca. + o,18%

+ Gruppe H = vierwöchiges Training in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

globinkonzentration eines Erythrozyten fielen ebenfalls am Anfang dieser Untersuchung ab und stiegen dann im Verlauf der Untersuchung nach vier Wochen an bis auf 5,1% ($p = o,o1$) bzw. 7,7% ($p = o,oo1$) über dem Ausgangswert.

In der vorliegenden Untersuchung stieg das Erythrozytenvolumen in beiden Gruppen stärker als das mittlere Hämoglobingewicht an, und somit fiel in beiden Gruppen die mittlere Hämoglobinkonzentration ab. Die Gruppe H zeigte einen höheren Anstieg des Volumens und des Hämoglobingewichtes, der aber im Rahmen der Anpassung an die Hypoxiesituation zu sehen ist und in dem Bereich der Untersuchungen von H.E. Weidemann liegt. Die von W. Meller et al. erhebliche Leistungssteigerung durch Höhentraining gegenüber dem Training in Meereshöhe und die Veränderungen der Erythrozytenparameter lassen keine Verbindung erkennen, die über die normale Anpassung an die Hypoxiesituation hinausgeht.

Insgesamt können wir bei drei von vier Fällen eine erhöhte Transportkapazität des Blutes für Sauerstoff beim höhentrainierten Zwilling gegenüber seinem Bruder feststellen: relativ mehr rote Zellen, die größer sind und absolut mehr Hämoglobin enthalten, führen zu erhöhtem Hämoglobingehalt und Hämatokrit. Diese Reaktion entspricht der in der Literatur beschriebenen normalen Anpassung an die Hypoxie (siehe oben); es wäre möglich anzunehmen, die vergrößerte Transportkapazität wäre ein Faktor, der die höhere Dauerleistung nach Rückkehr in Normoxie möglich macht, da man auch weiß, daß unter normalen Trainingsbedingungen die Tendenz besteht, die Sauerstofftransportkapazität zu erhöhen (M. Eckoldt et al.).

Ob diese Umstellung allein genügt, oder kardiopulmonale und muskuläre Veränderungen die Vorraussetzung schaffen müssen, die Transportkapazität vermehrt auszulasten und das damit verbundene erhöhte Angebot zu nutzen, läßt sich

an Hand den dieser Arbeit zugrundeliegenden Daten nicht beurteilen. Dazu müssen die in Arbeit begriffenen Auswertungen der Blutgasanalysen und Muskelbiopsien zusammen mit den Messungen der pulmonalen Leistungsfähigkeit Aufschluß geben, die vom Institut für Leistungsmedizin in Berlin und dem Forschungsinstitut der Eidgenössischen Turn- und Sportschule Magglingen/Schweiz zu den Zwillingsuntersuchungen 1973 und 1974 veröffentlicht werden.

Ohne spekulative Betrachtung der vorliegenden Daten der Sauerstofftransportkapazität kann man eine in der Norm liegende Höhenanpassung feststellen. Es bestehen keine spezifischen Veränderungen, die einen zwingenden Zusammen - hang zwischen der durch Höhentraining gesteigerten Dauer - leistungsfähigkeit und den Veränderungen im roten Blutbild knüpfen.

Der Hypoxiereiz, sei er bedingt durch Höhenexposition oder Trainingsbelastung, wird beantwortet mit einer Vermehrung der Erythrozytenmasse (A. Hurtado u. A. Hurtado et al.).

Eine Erhöhung der Erythrozytenmasse kann bedingt sein durch:

1.) Eine Verminderung der Erythrozytensequestration und damit eine Verlängerung der Erythrozytenlebensdauer; diese Möglichkeit ist beim Menschen durch keine empirischen oder experimentellen Daten verifiziert.
2.) Verstärkte Mobilisation der Erythrozyten aus Speichern. Im Gegensatz zu anderen Spezies (Hund-Milzspeicher) verfügt der Mensch über keine erhebliche Speicherkapazität für Erythrozyten.
3.) Verstärkte Erythropoese, die limitiert ist, durch die maximale Hämoglobinsynthesenkapazität (nach H. Heimpel maximale Synthese bei Polyglobulie um das Fünffache des Normalen erhöht, normal o,o9 g/kg/d).

Da die Erythrozytenmassenverwertung begrenzt ist, ist eine lineare Beziehung zwischen Reizintensität und Reizantwort nur im Bereich geringer Reizintensitäten zu erwarten. Daraus folgt, daß ein übermaximaler Reiz, in diesem Fall Höhe und Training, keine erhöhte Reizantwort erwarten läßt.

3.2. Leukozyten

3.2.1. Ergebnis

Die Leukozytenzahl pro mm^3 war in der Gruppe H vor dem Training im Mittel 5.375 und nach dem Training 5.8oo. Der durchschnittliche Anstieg um 425/mm^3 entspricht ca. 8%. In der Gruppe M stiegen die Leukozyten von 5.95o auf 5.975/mm^3; der Anstieg im Mittel von 2o entspricht o,4 % (Tab. 8). Die Veränderungen innerhalb der Gruppen und die Gruppenunterschiede liegen im Bereich des methodischen Fehlers.

3.2.2. Beurteilung

L. Heilmeyer et al. beobachteten bei längerem Aufenthalt in 2.65o m keine Veränderungen der Leukozytenzahlen und sehen hierin Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Wanner, Baer, Egelsmann und Ruppanner, die bei Höhenexposition unveränderte Gesamt-Leukozytenzahlen fanden. E. Ruppanner beobachtete beim plötzlichen Übergang ins Höhenklima eine Leukozytose, die sich in den ersten drei Wochen ausbildete und dann allmählich wieder verschwand (Akklimatisationsleukozytose).
Die in der vorliegenden Untersuchung gefundenen geringfügigen Leukozytenanstiege liegen im Bereich der oben genannten Arbeiten.
Die Bestimmung der Leukozytenzahl dient in der Weise bei dieser Untersuchung zur Kontrolle, daß zur optimalen Gleichhaltung der Bedingungen für die Versuchspersonen ein etwaiger entzündlicher Vorgang oder eine Infektion im Organismus ausgeschlossen werden konnte, der sowohl die Ergebnisse des Leistungsvergleiches als auch die Resultate, die aus der Frage nach der Ursache der Leistungssteigerung entspringen, verzerren würde.

3.3. Gesamt-Bilirubin und alkalische Phosphatase im Serum

3.3.1. Ergebnis

In der Gruppe H fiel die Aktivität der alkalischen Phosphatase im Serum von durchschnittlich 51 U/l vor dem Höhentraining um 3,5 U/l auf durschnittlich 47,5 U/l nach dem vierwöchigen Höhentraining. Der Abfall entspricht ca. 7%.
In der Gruppe M stieg das Enzym von durchschnittlich 67,38U/l vor dem Training um o,62 U/l auf durchschnittlich 68 U/l nach dem vierwöchigen Training in Meereshöhe. Der Anstieg entspricht ca. 1%.

Das Gesamt-Bilirubin im Serum stieg in beiden Gruppen an, in der Gruppe H von durchschnittlich 1o,5 µmol/l vor dem Höhen-

Tab. 8

Leukozytenzahlen

	Name	Leukozyten/mm^3 vor dem Training	Leukozyten/mm^3 nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	5.2oo	5.2oo	o	o
	He. J.	7.9oo	8.2oo	+ 3oo	ca. + 3,7%
	Ni.Be.+	5.ooo	6.ooo	+ 1.ooo	ca. + 2o%
	Ni.Pe.	6.1oo	6.1oo	o	o
1974	Ni.Pe.+	6.5oo	6.3oo	- 2oo	ca. - 3,2%
	Ni.Be.	5.7oo	5.2oo	- 5oo	ca. - 9,o%
	Wi.Be.+	4.8oo	5.7oo	+ 9oo	ca. + 18%
	Wi. H.	4.1oo	4.4oo	+ 3oo	ca. + 7,3%
	Gruppe H+	5.375	5.8oo	+ 425	ca. + 8%
	Gruppe M	5.95o	5.975	+ 25	ca. + o,4 %

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

training um 4 µmol/l auf durchschnittlich 14,5 µmol/l nach dem Training, in der Gruppe M von durchschnittlich 9,88 µmol/l vor dem Training um 4,12 µmol/l auf durchschnittlich 14 µmol/l. In der Gruppe H beträgt der Anstieg ca. 4o%, in der Gruppe M ca. 42% (Tab. 9 und 1o). 4 der 8 Werte nach der Trainingsperiode liegen oberhalb des Normbereiches. Bei der alk. Phosphatase lagen bis auf oben genannten (s. 2.5.) Gruppenunterschied der Mittelwerte vor dem Training alle Veränderungen innerhalb einer Gruppe sowie die Gruppenunterschiede innerhalb der Fehlerbreite der Methode.

Beim Gesamt-Bilirubin ist in der Gruppe H die Differenz der Werte vor und nach dem Training gleich der Fehlerbreite der Methode. In der Gruppe M liegt die Differenz außerhalb der Fehlerbreite der Methode. Der Gruppenunterschied in den Differenzen und in den Mittelwerten nach dem Training liegt im Bereich des methodischen Fehlers.

3.3.2. Beurteilung

Der Serumspiegel der alkalischen Phosphatase hängt von der Zahl der zugrunde gegangenen Zellen des Gallenepithels, der Knochen, der Nieren, des Darms und der Anzahl der zugrundegegangenen Leukozyten ab. Tritt ein Rückstau der Gallenwege ein, so tritt die alkalische Phosphatase, die bei der natürlichen Regeneration des Gallenepithels frei wird und mit der Galle ausgeschieden wird, erhöht im Blut auf.
Der Bilirubingehalt im Blut hängt einerseits von der Funktionstüchtigkeit der Leberzelle und andererseits von der Menge des abgebauten Hämoglobins ab.
Eine Vermehrung des abzubauenden Hämoglobins kann auftreten bei einer gesteigerten Hämolyse, einem erhöhten Erythro - zytenumsatz bei verkürzter Lebenszeit oder bei normalem Hämolyseindex, wenn die Gesamtzahl der Erythrozyten erhöht ist.

Tab. 9

Aktivität der alkalischen Phosphatase im Serum
in U/l

	Name	vor dem Training	nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	45	38	- 7	ca. - 1,6%
	He.J.	82,5	82	- o,5	ca. - o,7%
	Ni.Be.+	45	45	o	o
	Ni.Pe.	45	5o	+ 5	ca. + 11%
1974	Ni.Pe.+	39	42	+ 3	ca. + 8%
	Ni.Be.	72	65	-7	ca. - 1o%
	Wi.Be.+	75	65	- 1o	ca. - 13%
	Wi.H.	7o	75	+ 5	ca. + 7%
	Gruppe H+	51	47,5	- 3,5	ca. - 7%
	Gruppe M	67,38	68	+ o,62	ca. + 1%

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Tab. 1o

Gesamtbilirubin im Serum
in µmol/l

	Name	vor dem Training	nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	7,5	11	+ 3,5	ca. + .45
	He.J.	5,o	8	+ 3	ca. + 6o
	Ni.Be.+	9,o	16	+ 7	ca. + 77
	Ni.Pe.	14,o	2o	+ 6	ca. + 4o
1974	Ni.Pe.+	8,o	1o	+ 2	ca. + 25
	Ni.Be.	7,o	8,5	+ 1,5	ca. + 21
	Wi.Be.+	17,5	21	+ 3,5	ca. + 2o
	Wi.H.	13,5	19,5	+ 6	ca. + 48
	Gruppe H+	1o,5	14,5	+ 4	ca. + 4o
	Gruppe M	9,88	14	+ 4,12	ca. + 42

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Der Transport des Blutfarbstoffes vom Blut in die Galle kann in drei Phasen unterschieden werden:
1.) Aufnahme in die Leberzelle
2.) Konjugation
3.) Exkretion in die Galle.

S. Berendson, L. Heilmeyer et al., K. Ramsoe et al., C. Sanchez et al., J. Shorey et al., J.C. Stickney et al. untersuchten die Leberfunktion bei Höhenexposition, G. Schleusing, S.G. Bradley, R. Köhler, Jones, J. Nöcker und G. Schleusing, Wolf et al. bei körperlicher Belastung.

So fand S. Berendson beim Vergleich von Einwohnern in Lima in ca. 5.3oo m und in Meereshöhe einen signifikanten erhöhten Bilirubingehalt, verursacht durch einen Anstieg des indirekten Bilirubin, und signifikant erhöhte Aktivitäten der alkalischen Phosphatase im Blut bei den Höhenbewohnern. Die erhöhten Bilirubinwerte standen in Relation zu dem Ausmaß der sekundären Polyzytämie. Berendson gibt als möglichen Grund für die vorherrschend erhöhten indirekten Bilirubinwerte einen Defekt im Konjugations-Mechanismus in der Leber an. Die Veränderung könnte in der Anoxämie oder daraus resultierenden Polyzytämie begründet sein. Der Bromsulf phtaleintest fiel bei den Höhenbewohnern normal aus.

L. Heilmeyer et al. beschrieben, daß beim Übergang ins Höhenklima die dort vorhandene Hypoxie zu einer bereits leberschädigenden Anoxämie führen könne, die sich in einer Herabsetzung der Urobilin-Abfangfunktion der Leber zeige. Diese Funktionsreduktion zeige sich besonders bei körperlicher Arbeitsleistung, was sich wohl daraus erklären müsse, daß bei Muskelarbeit die Muskeldurchblutung zu- und die Leberdurchblutung abnehme. Andererseits beobachtete derselbe Untersucher eine verringerte Hämolyse-Aktivität, die zu einem geringeren Abbausoll des Blutfarbstoffes führt. Erst bei der Reklimatisation werde dann der übermäßige Hämoglo-

binbestand durch verstärkte Hämolyse-Aktivität reduziert, was unter Umständen zu einem "Reklimatisations-Ikterus" führen könne.

L. Heilmeyer et al. beobachteten bei ihren Versuchspersonen keine einheitlichen Bilirubinveränderungen unter Höhenex - position; sie interpretierten das im Sinne einer Überlage- rung der verringerten Hämolyse-Aktivität einerseits und der verringerten Leberfunktion andererseits.

J. Shorey et al. fanden bei Versuchen an Meerschweinchen und Mäusen unter Sauerstoff-Mangel-Atmung eine Exkretionsver - minderung der Leber.

Dahingegen berichteten K. Ramsoe et al., bei Höhenbewohnern (4.39o m) im Vergleich zu einer Kontrollgruppe in Meeres- höhe keine veränderte Exkretion für Salizylamid (eine Sub- stanz, die ebenfalls glukornidiert wird) gefunden zu haben.

C. Sanchez et al. beobachteten bei Höhenexposition (3.45o m) nach 6-8 Tagen keine Veränderung der maximalen Bromsulfo- phtalein - Clearence und schließen, daß der Metabolismus der gesunden Leber nicht bei einer solchen Hypoxie beeinträchtig wird.

G. Schleusing fand bei untrainierten, gesunden Probanden sowie Leistungssportlern unter mittlerer bis maximaler Ergo- meterbelastung eine normale Leber-Clearence für Bromthalein. Er sieht das als Indiz für eine von der körperlichen Leistung unbeeinträchtige Leberdurchblutung und Leberfunktion an.

F. Wolf et al. fanden bei Untersuchungen , daß unter Um- ständen bei körperlicher Belastung die Leberdurchblutung ge- steigert sei.

Demhingegen nehmen S.I. Bradley, R. Köhler, Jones und J. Nöcker und G. Schleusing bei Belastung eine verminderte Leberdurchblutung an. Sie fanden bei Sportlern pathologische

Reaktionen einzelner Leberfunktionsproben; R. Köhler und J. Nöcker und G. Schleusing beschrieben Hyperbilirubinämien, zu denen Schleusing bemerkt, daß sie auch Ausdruck einer gesteigerten Blutmauserung sein könnten.

Aufgrund der Tatsache, daß bei der vorliegenden Untersuchung alle Versuchspersonen nur unwesentliche Verschiebungen der Serumaktivität der alkalischen Phosphatase aufweisen, können wir einen Gallenrückstau, der das Gleichheits-Postulat der Versuchsbedingungen relativieren würde, ausschließen. Wenn auch nur eine einmalige Bestimmung vorliegt, so doch in dem Moment, in dem die gesteigerte Dauerleistungsfähigkeit der höhentrainierten Vpn gemessen wurde, so daß kein Zusammenhang zwischen der alkalischen Phosphatase und der erhöhten Dauerleistung zu erkennen ist.

Die in beiden Gruppen ca. 4o-prozentigen Bilirubinerhöhungen (die Mittelwerte liegen im Normbereich), die keine Relation zu den Hämoglobinwerten aufweisen, lassen einerseits auf einen Trainingseffekt schließen. Dabei könnte die leistungsbedingte Hypoxämie entweder zu einem gesteigerten Erythrozytenumsatz geführt haben (Bilirubinämie im Sinne eines erhöhten Angebotes an Blutfarbstoff) oder zu einer leichten Leberinsuffizienz (Bilirubinämie im Sinne einer Ausscheidungsverzögerung des Blutfarbstoffes).

Andererseits müssen die Veränderungen in beiden Gruppen nicht diesselbe Ursache haben. Dafür spricht, daß in der Höhentrainingsgruppe die Harnsäure im Serum während der Trainingsperiode anstieg, in der Kontrollgruppe nicht (s. 3.9.). Das kann im Sinne eines vermehrten Zellumsatzes in der Gruppe H gedeutet werden.

Eine schlüssige Klärung lassen die Einmalbestimmungen in dieser Arbeit nicht zu. Dazu müßten weitergehende Untersuchungen angestellt werden, die Erythrozytenumsatz und Leberfunktion nebeneinander erfassen.

3.4. Serumkonzentration von Natrium- und Kalium-Ionen

3.4.1. Ergebnis

Natrium fiel in beiden Gruppen von 144,75 vor dem Training, bzw. 144,5 mmol/l auf 144,4 (alle Werte im Mittel) nach dem Training; Kalium fiel in der Gruppe H (Höhentraining) von durchschnittlich 4,44 mmol/l auf 4,38 und stieg in der Gruppe M von 3,96 auf 4,33 mmol/l an. Das durchschnittliche Absinken in der Gruppe H für Natrium von o,35 und Kalium von o,o6 entspricht - o,25 bzw. - 1,4%. In der Gruppe M entspricht das Absinken des Natrium um o,1 mmol/l o,o8% und der Anstieg des Kalium um o,4 mmol/l 11% (Tab. 11 und 12).
Bis auf den oben genannten (2.5.) Unterschied der Mittel - werte vor dem Training beim Kalium lagen alle Veränderungen innerhalb der Fehlerbreite der Methode.

3.4.2. Beurteilung

Der Vergleich der Serumkonzentration von Natrium und Kalium und die dabei festgestellten geringfügigen Schwankungen lassen keinen Anhaltspunkt dafür erkennen, daß die erheblich erhöhte Leistungsfähigkeit nach Höhentraining gegenüber Training in Meereshöhe in einem Zusammenhang mit Verschie - bungen der hiergenannten Elektrolytenspiegel steht.

3.5. Chlorid-Ionen und venöse CO_2 - Konzentration

3.5.1. Ergebnis

Die Chlorid-Ionen Konzentration nahm in der Gruppe H mit Höhentraining von durchschnittlich 1o2,6 mmol/l vor dem Training auf durchschnittlich 1o2,75 mmol/l nach dem Training zu, die Differenz von o,15 entspricht ca. o,15%. In der Gruppe M nahm das Chlor von durchschnittlich 1o2,8 auf durchschnittlich 1o2 mmol/l ab, die Differenz von - o,8 entspricht ca. o,8% (Tab. 13).
Die venöse CO_2 -Konzentration nahm in beiden Gruppen ab, in der Gruppe H von durchschnittlich 28,2 mmol/l vor dem Höhentraining auf durchschnittlich 27,7 um o,5 entsprechend ca. 1,8%, in der Gruppe M von durchschnittlich 28,3 auf 28,25 mmol/l um o,oo5 entsprechend ca. o,2 % (Tab. 14). Alle Veränderungen und Gruppenunterschiede befinden sich innerhalb der Fehlerbreite der Methode.

3.5.2. Beurteilung

Hypoxie führt zu einer Hyperventilation, deren Folge ein vermehrtes Abatmen von CO_2 ist. Es entsteht eine respiratorische Alkalose. Um sie zu kompensieren wird einerseits die Bikarbonat-Ausscheidung über die Niere erhöht, andererseits wandert vermehrt HCO_3^- im Austausch gegen Cl^- ins Gewebe (Rein-Schneider). Die Quantität dieser Vorgänge

Tab. 11

Serumkonzentration von Natrium^{+}
in mmol/l

	Name	Na.$^{+}$ vor dem Training	Na.$^{+}$ nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.$^{+}$	144	141,5	- 2,5	ca. -1,8
	He.J.	144	141,5	- 2,5	ca. -1,8
	Ni.Be.$^{+}$	144	143	$\pm$ 1	ca. -o,7
	Ni.Pe.	143	143	$\pm$ o	o
	Ni.Pe.$^{+}$	145	147	$\pm$ 2	ca. +1,5
	Ni.Be.	146	146	$\pm$ o	ca. o
1974	Wi.Be.$^{+}$	146	146	$\pm$ o	o
	Wi.H.	145	147	+ 2	ca. +1,5
	Gruppe H^{+}	144,75	144,4	- o,35	ca. -o,25
	Gruppe M	144,5	144,4	- o,1	ca. -o,o8

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Tab. 12

Serumkonzentration von Kalium^{+}
in mmol/l

	Name	Ka.$^{+}$ vor dem Training	Ka.$^{+}$ nach dem Training	Differenz	Differenz in %
	He.Kl.$^{+}$	4,2	4,1	- o,1	ca. - 2,5
	He.J.	4,1	4,25	- o,15	ca. + 3,4
1973					
	Ni.Be.$^{+}$	4,1	4	- o,1	ca. + 2,5
	Ni.Pe.	3,9	4,2	+ o,3	ca. + 7,5
	Ni.Pe.$^{+}$	5,45	4,8	- o,65	ca. - 12
	Ni.Be.	4,25	4,5	+ o,25	ca. + 6
1974					
	Wi.Be.$^{+}$	4	4,6	+ o,6	ca. + 15
	Wi.H.	3,6	4,35	+ o,75	ca. + 21
	Gruppe H^{+}	4,44	4,38	- o,o6	ca. - 1,4
	Gruppe M	3,96	4,33	+ o,37	ca. + 11

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Tab. 13

Serumkonzentration von Cl^-
in mmol/l

	Name	Cl^- vor dem Training	Cl^- nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	1o3	1o3,5	+ o,5	ca. + o,5
	He.J.	1o4	1o4	o	o
	Ni.Be.+	99,5	1o3	+ 3,5	ca. + 3,5
	Ni.Pe.	99,2	1oo	+ o,8	ca. + o,8
1974	Ni.Pe.+	1o2	1o2	o	o
	Ni.Be.	1o4	1o2,5	- 1,5	ca. - 1,5
	Wi.Be.+	1o6	1o2,5	- 3,5	ca. - 3,5
	Wi.H.	1o4	1o1,5	- 2,5	ca. - 2,5
	Gruppe H^+	1o2,6o	1o2,75	+ o,15	ca. + o,15
	Gruppe M	1o2,8	1o2,o	- o,8	ca. - o,8

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Tab. 14

CO_2 - Konzentration im Serum

in mmol/l

	Name	CO_2 vor dem Training	CO_2 nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	28	25,2	- 2,8	ca. - 1o
	He.J.	26,5	24,5	- 2	ca. - 8
	Ni.Be.+	27,2	27	- o,2	ca. - o,7
	Ni.Pe.	28,9	3o,5	+ 1,6	ca. + 5,5
	Ni.Pe.+	29,4	28,6	- o,8	ca. - 2,7
	Ni.Be.	28,8	28	- o,8	ca. - 2,8
1974	Wi.Be.+	28,2	3o	+ 1,8	ca. + 6,4
	Wi.H.	29	3o	+ 1	ca. + 3,3
	Gruppe H+	28,2	27,7	- o,5	ca. - 1,8
	Gruppe M	28,3	28,25	- o,o5	ca. - o,2

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

hängt vom Grad der Hypoxie ab. Die venöse Kohlendioxyd-Konzentration ist kein sicherer Indikator für die arterielle Säure-Basen-Situation (eine Untersuchung über die Blutgase der Vpn bei dieser Untersuchung wird von dem Institut für Leistungsmedizin demnächst veröffentlicht); außerdem kann man annehmen, daß zur Zeit der Blutentnahme unmittelbar nach der Rückreise schon eine Anpassung an die Normoxie stattgefunden hat. Die geringfügigen Verschiebungen in den Serumkonzentrationen lassen weder Rückschlüsse auf eine Kompensation einer hypoxiebedingten respiratorischen Alkalose zu, noch lassen sie spezifische Veränderungen, bedingt durch das Höhentraining, erkennen. Letzteres gibt keinen Grund zu der Annahme, daß eine Verbindung zwischen der erheblichen Leistungssteigerung durch Höhentraining gegenüber dem Training in Meereshöhe und o.g. Serumkonzentration besteht.

3.6. Serumkonzentrationen von Harnstoff und Kreatinin

3.6.1. Ergebnis

Die Harnstoffkonzentrationen fielen in beiden Gruppen ab, in der Gruppe H von durchschnittlich 5,15 mmol/l um o,3 auf durchschnittlich 4,85 mmol/l, in der Gruppe M von durchschnittlich 5,25 mmol/l um o,4 auf durchschnittlich 4,85 mmol/l. In der Gruppe H betrug der Abfall ca. -5,8%, in der Gruppe M ca. -7,6%.

Die Kreatinin stiegen im Durchschnitt in beiden Gruppen an, in der Gruppe H von durchschnittlich 9o µmol/l um 1o auf durchschnittlich 1oo µmol/l, in der Gruppe M von durchschnittlich 83,25 µmol/l um 5 auf durchschnittlich 88,25 µmol/l. Der Anstieg in der Gruppe H betrug ca. 11%, in der Gruppe M ca. 6%. Die Veränderungen während der Untersuchung innerhalb der Gruppen und die Gruppenunterschiede liegen im Bereich des methodischen Fehlers (Tab. 15 und 16).

3.6.2. Beurteilung

Erhöhte Harnstoff- und Kreatininwerte sind Indikatoren einer eingeschränkten Nierenfunktion. W. Kindermann et al. zitierten in ihrer Arbeit über Bewertung leistungsphysiologischer Anpassungsvorgänge G. Haralambie., der sagt, daß sich in den letzten Jahren Hinweise darauf ergeben, daß gehäuft Überlastungsschäden bei Erhöhungen oder Verschiebungen verschiedener Substanzen im Blut wie Harnstoff, Kreatinin, aber auch Harnsäure, Cholesterin und Elektrolyte auftreten.

Die Auswertung der Bestimmungen der Harnstoff- und Kreatinin-Konzentrationen ergibt, daß weder eine irgendwie begründete Nierenfunktionseinschränkung noch eine Überlastung der Vpn durch das ihnen auferlegte Training vorlag, die die vergleichenden Untersuchungen über die

Tab. 15

Harnstoffkonzentration im Serum
in mmol/l

	Name	Harnstoff vor dem Training	Harnstoff nach d.Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	5,5	4,8	- o,7	ca. - 13
	He.J.	4,9	4,25	- o,65	ca. - 13
	Ni.Be.+	5,2	4,5	- o,7	ca. - 14
	Ni.Pe.	4,5	4,4	- o,1	ca. - 2
	Ni.Pe.+	4,9	4,9	o	o
	Ni.Be.	5,4	4,75	- o,65	ca. - 12
1974	Wi.Be.+	5	5,2	+ o,2	ca. + 4
	Wi.H.	6,2	6	- o,2	ca. - 3
	Gruppe H+	5,15	4,85	- o,3	ca. - 5,8
	Gruppe M	5,25	4,85	- o,4	ca. - 7,6

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Tab. 16

Kreatinin-Konzentration im Serum
in µmol/l

	Name	Kreatinin vor dem Training	Kreatinin nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	88	1oo	+ 12	ca. + 13
	He.J.	75	82	+ 7	ca. + 9
	Ni.Be.+	9o	9o	o	o
	Ni.Pe.	83	89	+ 6	ca. + 7,5
1974	Ni.Pe.+	9o	11o	+ 2o	ca. + 22
	Ni.Be.	9o	92	+ 2	ca. + 2,2
	Wi.Be.+	92	1oo	+ 8	ca. + 8,7
	Wi.H.	85	9o	+ 5	ca. + 6
	Gruppe H+	9o	1oo	+ 1o	ca. + 11
	Gruppe M	83,25	88,25	+ 5	ca. + 6

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m .

Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Leistungssteigerung durch Höhentraining und auch die hier vorliegende Untersuchung in Frage stellen würden. Das im Organismus vorhandene Kreatinin befindet sich nahezu vollständig in der Muskulatur, 6o% davon als Kreatininphosphat (H. Borsock u. J.W. Dubnow et al.). Nach W. Hallauer et al. bleibt die Kreatinin-Konzentration unter maximaler möglicher Belastung normal. Die zu erwartende erhöhte Serumkonzentration wird durch erhöhte renale Elimination kompensiert.

Aus den geringfügigen Veränderungen der Werte vor und nach Höhentraining und Training in Meereshöhe, die sich im Bereich des methodischen Fehlers befinden, lassen sich keine Zusammenhänge zwischen Harnstoff- bzw. Kreatinin - Spiegel und der von W. Meller et al. durch Höhentraining gesteigerten Dauerleistung feststellen.

3.7. Serumkonzentration von Kalzium und Anorganischem Phosphat

3.7.1. Ergebnis

In beiden Gruppen fielen die Konzentrationen des Ca ab, in der Gruppe H von durchschnittlich 2,54 mmol/l vor dem Höhentraining um o,o4 auf durchschnittlich 2,5o mmol/l nach dem Training, in der Gruppe M von durchschnittlich 2,51 mmol/l um o,o9 auf durchschnittlich 2,42 mmol/l. Das Absinken entspricht in der Gruppe H ca. 1,7, in der Gruppe M ca. 3,8% (Tab. 17).
Die Serumkonzentrationen des Anorganischen Phosphats stiegen in beiden Gruppen an, in der Gruppe H von durchschnittlich 1,o mmol/l vor dem Training in der Höhe um o,15 auf durchschnittlich 1,15 mmol/l nach dem Training, in der Gruppe M von durchschnittlich o,93 mmol/l um o,o2 auf durchschnittlich o,95 mmol/l. Der Anstieg in der Gruppe H entspricht gegenüber dem Ausgangswert ca. 12%, in der Gruppe M ca. 2% (Tab. 18). Weder Veränderungen innerhalb der Gruppe noch Gruppenunterschiede waren so groß, daß sie außerhalb des methodischen Fehlers liegen.

3.7.2. Beurteilung

Die einfache Bestimmung von Kalzium und Anorganischem Phosphat im Blut entspricht einer Momentaufnahme des Knochenstoffwechsels.
Die bei einer Alkalose auftretenden Tetanien sind Folge der Erniedrigung des ionisierten Kalziums und können auch bei unverändertem Gesamtkalzium auftreten. Somit wäre eine unter Umständen in Hypoxie durch Hyperventilation auftretende Alkalose nicht mit oben genannter Serumbestimmung zu erkennen.

Die in der vorliegenden Untersuchung geringfügigen Schwankungen innerhalb des Bereichs des methodischen Fehlers bestätigen die Annahme, daß keine pathologischen Veränderungen bei einer oder mehreren Vpn die auf Gleichheit der Versuchs-

Tab. 17

Ca^+ - Konzentration im Serum
in mmol/l

	Name	Ca^+ vor dem Training	Ca^+ nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	2,47	2,4	- o,o7	ca. - 3
	He.J.	2,6	2,38	- o,12	ca. -5
	Ni.Be.+	2,6	2,5	- o,1	ca. - 4
	Ni.Pe.	2,58	2,45	- o,13	ca. - 5
	Ni.Pe+	2,63	2,6	- o,o3	ca. - 1,5
	Ni.Be.	2,56	2,45	- o,11	ca. - 4
1974	Wi.Be.+	2,45	2,48	+ o,o3	ca. + 1,2
	Wi.H.	2,4	2,38	- o,o2	ca. - o,98
	Gruppe H+	2,54	2,5	- o,o4	ca. - 1,7
	Gruppe M	2,51	2,42	- o,o9	ca. - 3,8

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Tab.18

Serumkonzentration von anorganischem Phosphat
in mmol/l

	Name	anorg. Phosphat vor dem Training	anorg. Phosphat nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	o,9	1,o7	+ o,17	ca. + 2o
	He.J.	o,87	1,1	+ o,23	ca. + 3o
	Ni.Be.+	1,1	1,15	+ o,o5	ca. + 5
	Ni.Pe.	o,86	o,91	+ o,o5	ca. + 5,5
1974	Ni.Pe.+	o,95	1,1	+ o,15	ca. + 16
	Ni.Be.	1	o.94	- o,o6	ca. - 6
	Wi.Be.+	1,o3	1,1	+ o,o7	ca. + 7
	Wi.H.	1	o,83	- o,17	ca. - 6
	Gruppe H+	1	1,15	+ o,15	ca. + 12
	Gruppe M	o,93	o,95	+ o,o2	ca. + 2

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m .
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

bedingungen ausgerichtete vergleichende Untersuchung beeinträchtigt haben; andererseits lassen sich auch keine Schlüsse ziehen, die bei der Beantwortung der Frage nach Zusammenhängen zwischen der durch Höhentraining gegenüber Training in Normoxie erhöhte Dauerleistungsfähigkeit und Veränderungen des Stoffwechsels helfen könnten.

3.8. Gesamt-Eiweiß - und Albumingehalt im Blut

3.8.1. Ergebnis

Der Gehalt an Gesamt-Eiweiß und Albumin nahm in beiden Gruppen während des Versuches zu. In der Gruppe H stieg das Gesamt-Eiweiß von durchschnittlich 72,75 g/l vor dem vierwöchigen Training in 2.ooo m Höhe um o,5 auf durchschnittlich 73,25 g/l nach dem Training, das Albumin nahm in derselben Zeit von durchschnittlich 46,75 g/l um 2,38 auf 49,13 g/l zu.

In der Gruppe M betrug der durchschnittliche Anstieg des Gesamt-Eiweißes 1,88 g/l von durchschnittlich 71,88 g/l vor dem vierwöchigen Training in Meereshöhe auf durchschnittlich 73,75 g/l nach dem Training; das Albumin stieg in derselben Zeit von durchschnittlich 45,89 g/l um 1,5 auf durchschnittlich 47,38 g/l an.

Der Anstieg bedeutete in der Gruppe H ca. o,7%, in der Gruppe M ca. 2,5%; beim Albumin stiegen die Werte um ca. 5 bzw. ca. 3,3%. Der Anstieg der Werte innerhalb der Gruppen und gruppenunterschiedliches Verhalten liegen im Bereich des methodischen Fehlers (Tab. 19 und 2o).

3.8.2. Beurteilung

Aus den Werten der vorliegenden Untersuchung läßt sich erkennen, daß in der Gruppe H neben dem geringfügigen Anstieg der Gesamt-Eiweiß-Konzentration der relative Teil der Albumin-Konzentration zugenommen hat. Während vor dem vierwöchigen Höhentraining die 46,75 g/l Albumin 63,6% des Gesamt-Eiweißes von 72,75 g/l ausmachten, bedeuten die 49,13 g/l Albumin nach dem Training 67,8% des Gesamt-Eiweißes von 73,25 g/l (alle Werte im Durchschnitt).

Tab. 19

Gehalt des Serums an Gesamt-Eiweiß
in g/l

	Name	Gesamt-Eiweiß vor dem Training	Gesamt - Eiweiß nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	69	69	o	o
	He.J.	71	7o	- 1	ca. - 1,4
	Ni.Be.+	7o	72	+ 2	ca. + 3
	Ni.Pe.	71	73	+ 2	ca. + 3
	Ni.Pe.+	78	77	- 1	ca. - 1,3
	Ni.Be.	74	77	+ 3	ca. + 4
1974	Wi.Be.+	74	75	+ 1	ca. + 1,4
	Wi.H.	71,5	75	+ 3,5	ca. + 5
	Gruppe H+	72,75	73,25	+ o,5	ca. + o,7
	Gruppe M	71,88	73,75	+ 1,88	ca. + 2,5

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe

Tab. 2o

Albumin-Gehalt im Serum
in g/l

	Name	Albumin vor dem Training	Albumin nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	44	49	+ 5	ca. + 11
	He.J.	41,5	44	+ 2,5	ca. + 6
	Ni.Be.+	5o	52	+ 2	ca. + 4
	Ni.Pe.	51	51	o	o
1974	Ni.Pe.+	49,5	5o	+ o,5	ca. + 1
	Ni.Be.	49	51	+ 2	ca. + 4
	Wi.Be.+	43,5	45,5	+ 2	ca. + 4,5
	Wi.H.	42	43,5	+ 1,5	ca. + 3,8
	Gruppe H+	46,75	49,13	+ 2,38	ca. + 5
	Gruppe M	45,89	47,38	+ 1,5	ca. + 3,3

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Vergleicht man die untrainierten He.Kl. und Wi.Be. mit den trainierten Ni.Pe. und Ni.Be., so sieht man, daß bei den untrainierten das Albumin im Durchschnitt um 3,5 g/l stieg und bei den Trainierten im Durchschnitt um 1,25 g/l.
In der Gruppe M bedeuten die 45,88 g/l Albumin vor dem Training 63,8% der 71,88 g/l Gesamt-Eiweiß, die 47,38 g/l Albumin nach dem Training 64,2% der 73,75 g/l Gesamt - Eiweiß (Abb. 1).

Nach J. Brown und C.M. Pearson wird durch körperliches Training die Eiweißsynthese aktiviert. Die Eiweißkörper (Albumine) dienen den aus der Lipolyse gewonnenen freien Fettsäuren als Carrier. In der Weise könnte geschlossen werden, daß die o.g. Erhöhungen der normalen Anpassungsreaktion an das Training entsprechen, wobei bei den untrainierten Individuen ein größerer Anstieg der Albumine und eine vermehrte Umverteilung zugunsten der Albumine beobachtet wurde (Tab. 19 u. 2o). Es könnte angenommen werden, daß bei quantitativer und qualitativer gleicher Trainingsbelastung die in der Höhe verstärkt aktivierte Eiweiß- bzw. Albumin-Synthese, Gruppe H Albuminvermehrung um 2,38 g/l, Gruppe M Albuminvermehrung um 1,5 g/l (Tab.2o), und damit vergrößerte Gesamtkapazität an Carriern für freie Fettsäuren eine Ursache der vergrößerten Dauerleistungsfähigkeit ist. Wenn man dies annimmt, wäre die Hypoxie ein Stimulans für die Albuminsynthese. Bei Dauerleistung ist die Fettsäureoxydation des Muskels vermehrt; der notwendige Sauerstoff wird durch eine Steigerung der kardiopulmonalen Leistung geliefert, das energetische Substrat sind die Fettsäuren, die durch vermehrte Lipolyse freigesetzt werden und über den Plasma-Pool mittels Carrier ihren Oxydations-Pool, die Muskelzelle erreichen.

Wie auch andere Untersucher, M.I. Surks und H. Westergaard et al., finden wir eine Erhöhung der Albuminkonzentration im Plasma. Die erhöhte Albuminkonzentration kann bedingt sein durch:

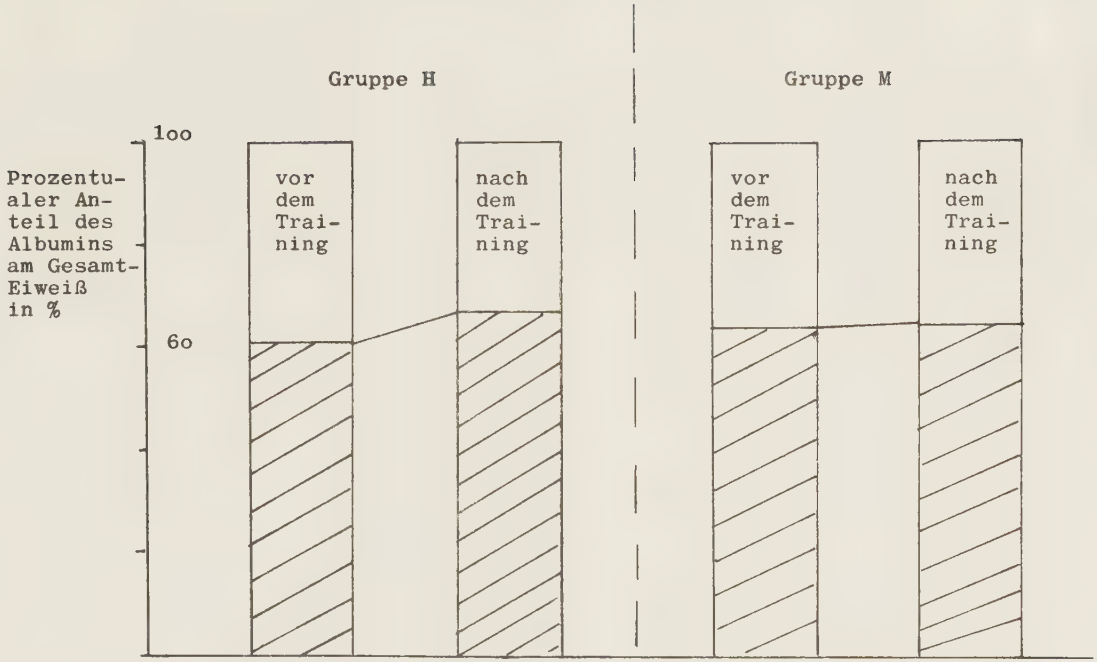


Abb. 1 Prozentualer Anteil des Albumins am Gesamteiweiß vor und nach dem vierwöchigen Training der Gruppe H in 2.ooo m Höhe und der Gruppe M in Meereshöhe.

1.) einen verminderten Abbau der Albumine, wie ihn M.I. Surks beschreibt, allerdings möglicherweise verur - sacht durch eine unphysiologische Erhöhung des Albuminsubstratdruckes bei seinen Untersuchungen. H. Westergaard et al. fanden dagegen bei physiolo - gischeren Bedingungen keinen erhöhten Abbau.

2.) eine gesteigerte Synthese; im Gegensatz zu J. Brown und C.M. Pearson konnte von M.I. Surks und H. Westergaard et al. keine gesteigerte Albuminsythese unter Hypoxie gefunden werden.

3.) eine Pool-Verschiebung; während M.I. Surks eine Umverteilung vom Extravasalraum in den Intravasalraum findet, kommen H. Westergaard et al. zum entgegengesetzten Ergebnis. Beide Untersuchungen sind in Bezug auf die Pool-Umverteilung wenig deutlich.

4.) eine Erhöhung der Albuminkonzentration im Plasma bei Reduktion des Plasmavolumens und konstant bleibendem Albumingehalt des Plasmaraumes. Die widersprüchlichen Untersuchungen von M.I. Surks und H. Westergaard et al. könnten hierdurch erklärt werden.

Im Gegensatz zu der von uns gefundenen relativen Erhöhung der Albumine und der von Westergaard et al. ebenfalls beschriebenen relativen Verminderung der Globuline beschreibt S. Berendson beim Vergleich von Populationen in Meereshöhe und ca. 5.27o m eine relative Verminderung der Albumine gegenüber den Globulinen, wobei aber Albumine und Globuline methodisch anders definiert werden; zudem beschreibt dieser Populationsvergleich eine chronische Adaptation.

3.9. Harnsäure

3.9.1. Ergebnis

In der Gruppe H stieg die Harnsäurekonzentration von durchschnittlich 296,75 µmol/l vor dem vierwöchigen Höhentrainning um 29,5 µmol/l auf durchschnittlich 326,25 µmol/l; der Anstieg entspricht ca. 1o% des Ausgangswertes. In der Gruppe M sank die Harnsäure im Serum von durchschnittlich 293,5 µmol/lvor dem vierwöchigen Training in Meereshöhe um 6 µmol/l auf durchschnittlich 287,5 µmol/l nach der Trainingsperiode; der Abfall entspricht ca. 2% des Ausgangswertes. Der Gruppenunterschied in den Mittelwerten nach dem Training und in den Differenzen vor und nach dem Training, sowie der Anstieg in der Gruppe H während des Versuchs liegen außerhalb der Fehlerbreite der Methode (Tab. 21).

3.9.2. Beurteilung

Die Harnsäure stellt das Abbauprodukt der in den Nucleinsäuren vorkommenden Purinbasen dar. Im physiologischen Bereich sind Harnsäurespiegel-Änderungen oft durch unterschiedliche Nahrungsmittelzufuhr bedingt; vor allem durch vermehrte Zufuhr von purinreichen Nahrungsmitteln wie Fleisch, Leber, Nieren und Hülsenfrüchten wird ein Anstieg der Harnsäure bewirkt. Da sich die Kontrollpersonen in der vorliegenden Untersuchung bemüht haben, den beiden Gruppen qualitativ und quantitativ gleiche Nahrung anzubieten, müßte die Differenz zwischen den beiden Gruppen auf einen anderen Faktor zurückzuführen sein, wenn man annimmt, daß der Unterschied, der nicht methodisch bedingt ist, eine Tendenz darstellt. Pathologische erhöhte Werte sprechen für eine Überproduktion oder verminderte renale Ausscheidung. Verminderte renale Ausscheidung können wir wohl ausschliessen; sie wäre mit einer Erhöhung anderer harnpflichtiger Substanzen wie Harnstoff oder Kreatinin verbunden. Eine Überproduktion wäre bei Zuständen, die mit vermehrtem Zelluntergang oder Zellumsatz verbunden sind, zu erwarten. Gross

Tab. 21

Harnsäure-Konzentration im Serum
in µmol/l

	Name	Harnsäure vor dem Training	Harnsäure vor dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	362	38o	+ 18	ca. + 5
	He.J.	378	34o	- 38	ca. - 1o
	Ni.Be.+	315	3oo	- 15	ca. - 5
	Ni.Pe.	291	28o	- 11	ca. - 3,3
	Ni.Pe.+	2o5	285	+ 8o	ca. + 4o
	Ni.Be.	23o	24o	+ 1o	ca. + 4,5
1974	Wi.Be.+	3o5	34o	+ 35	ca. + 11
	Wi.H.	275	29o	+ 15	ca. + 5,5
	Gruppe H+	296,75	326,25	+ 29,5	ca. + 1o
	Gruppe M	293,5	287,5	- 6	ca. - 2

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

und Jahn geben an, daß bei chronisch verlaufenden Blut - krankheiten mit erhöhtem Zellumsatz, wie der Polyzythämia sekundaria ein erhöhter Harnsäurespiegel auftreten kann.

Wir beoabachteten zwar einen leichten Anstieg der Erythrozyten von ca. 1,5%, daran ließe sich aber die Harnsäureerhöhung im Serum allein nicht ableiten. Wahrscheinlicher ist aber, daß ein vermehrter Erythrozytenumsatz in der Höhengruppe stattgefunden hat. Man könnte dann die in der Höhengruppe etwas größere Bilirubinvermehrung (siehe 3.3.) im Serum als Aufpfropfung des zellumsatzbedingten Angebots auf eine leberbedingte Abbauschwäche, ansehen. Aber die Größe des Versuchskollektives und das Ausmaß der Bilirubin-Veränderungen lassen dies nur als Spekulation erscheinen. Wie oben erwähnt lassen nur weitergehende spezielle Untersuchungen nähere Schlüsse zu.

3.1o. Glukose im Serum

3.1o.1. Ergebnis

In beiden Gruppen nahm die Glukosekonzentration im Serum ab, in der Gruppe H von durchschnittlich 5,47 mmol/l vor dem Höhentraining um o,57 mmol/l auf 4,9 mmol/l nach dem vierwöchigen Training (wegen eines Fehlers bei der Autoanalyzer-Bestimmung liegen nur Werte in der Gruppe H zum Vergleich vor), in der Gruppe M von durchschnittlich 5,15 mmol/l vor dem Training um o,12 mmol/l auf durchschnitt - lich 5,o3 mmol/l danach.
In der Gruppe H entspricht der Abfall ca. 1o,4%, in der Gruppe M ca. 2,5% (Tab. 22). Die Veränderungen in den Gruppen und die Gruppenunterschiede müssen als methodisch bedingt angesehen werden.

3.1o.2. Beurteilung

J. Keul und G. Haralambie beobachteten, daß nach einem vierwöchigen Training der Anteil der freien Fettsäuren an der Energiebereitstellung von ca. 3o% auf ca. 45% anstieg. Gleichzeitig nahm die Glukoseoxidation ab. Keul sieht die Umstellung von Glukose auf Fettoxidation als Trainingseffekt an und die erhöhte Fettoxidation als Ausdruck einer erhöhten Dauerleistungsfähigkeit. In der Weise müßte mit der gesteigerten Dauerleistungsfähigkeit der Höhentrainierten eine entsprechende gegenüber den im Flachland Trainierten erhöhte Fettoxidation festzustellen sein, bzw. letztere die Leistungssteigerung mitbedingen.

Tab. 22

Glucose-Serum-Konzentration
in mmol/l

	Name	vor dem Training	nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	4,4	4,o	- o,4	ca. - 9
	He.J.	4,8	4,1	- o,7	ca. - 15
	Ni.Be.+	5,8	4,3	- 1,5	ca. - 26
	Ni.Pe.	4,4	4,6	+ o,2	ca. + 5
	Ni.Pe.+	6,2	5,9	- o,3	ca. - 5
	Ni.Be.	5,9	5,9	o	o
1974	Wi.Be.+	fehlt	5,4	----	-----
	Wi.H.	5,5	5,5	o	o
	Gruppe H+	5,47	4,9	- o,57	ca. - 1o,4
	Gruppe M	5,15	5,o3	- o,12	ca. - 2,5

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Derselbe Untersucher beobachtete während eines vierwöchigen Trainings, das zu einer signifikanten Dauerleistungssteigerung führte, während der Belastung sowohl beim Untrainierten als auch beim Trainierten eine gleichmäßige geringe Abnahme des Glukosespiegels im Blut. In Ruhe fand er eine unveränderte arterio-venöse Glukosedifferenz.
W. Kindermann et al. zitieren J. Keul et al., die sagen, daß sich, falls die Arbeit nicht Stunden dauere, die Glukosespiegel nur geringfügig verändern. Somit war auch keine wesentliche Änderung der Blutglukose nach vier - wöchigem Training zu erwarten. Eine Verbindung zwischen der durch Höhentraining gegenüber qualitativ und quantitativ gleichem Training im Flachland gesteigerten Dauerleistungsfähigkeit und den venösen Blutglukosespiegeln lassen sich nicht feststellen.

3.11. Gesamt-Cholesterin im Serum

3.11.1. Ergebnis

In der Gruppe H fiel der Cholesterin-Gehalt im Serum von durchschnittlich 4,62 mmol/l vor dem Training um o,13 mmol/l auf durchschnittlich 4,49 mmol/l nach dem vierwöchigen Höhentraining, entsprechend 3% ab. In der Gruppe M stieg der Cholesterinspiegel im Serum von durchschnittlich 4,55 mmol/l vor dem Training um o,74 mmol/l auf 5,29 mmol/l nach dem vierwöchigen Training in Meereshöhe, entsprechend 16% an (Tab. 23).
Der Gruppenunterschied in den Differenzen der Mittelwerte vor und nach dem Training, sprich das gruppenunterschiedliche Verhalten während der Untersuchung, entspricht genau der Fehlerbreite der Methode.
Beim Vergleich der Zwillinge eines Paares ergibt sich, daß in allen vier Fällen beim in der Ebene trainierenden Zwilling ein Anstieg zu verzeichnen ist, wohingegen bei den Höhentrainierten in drei Fällen zwar ein Anstieg zu sehen ist, der geringer ist als beim jeweiligen Bruder, aber in einem Fall ein Abfall zu sehen ist (Tab. 23).

3.11.2. Beurteilung

Der Serum-Cholesterinspiegel ist geschlechts- und altersabhängig und durch Ernährungsgewohnheiten beeinflußbar.

Tab. 23

Cholesterin-Konzentrate im Serum
in mmol/l

	Name	vor dem Training	nach dem Training	Differenz	Differenz in %
	He.Kl.+	5,3	4,35	- o,95	ca. - 18
	He.J.	5,64	5,75	+ o,11	ca. + 2
1973					
	Ni.Be.+	4,5	4,7	+ o,2	ca. + 4,5
	Ni.Pe.	4,3	4,8	+ o,5	ca. + 11
	Ni.Pe.+	4,4	4,4	o	o
	Ni.Be.	4,1	5,6	+ 1,5	ca. + 37
1974					
	Wi.Be.+	4,3	4,5	+ o,2	ca. + 4,5
	Wi.H.	4,15	5,o	+ o,85	ca. + 2o
	Gruppe H+	4,62	4,49	- o,13	ca. - 3
	Gruppe M	4,55	5,29	+ o,74	ca. + 16

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Die Vpn in der vorliegenden Untersuchung sind gleichgeschlechtlich, im selben Alter und ernährten sich während der Untersuchung annähernd qualitativ und quantitativ gleich. J. Keul et al. stellten nach einem vierwöchigen körperlichen Training einen erhöhten arteriellen Spiegel an freien Fettsäuren fest, wohingegen der Triglyzeridspiegel sowohl in Ruhe als auch während der Körperarbeit niedriger lag. P.D. Wood berichtet, daß er bei einer Untersuchung von Langstreckenläufern einen Triglyzeridspiegel von 7o mg%, bei einer gleichaltrigen Kontrollgruppe 146 mg% fand; der Cholesterinspiegel war auf 2oo mg% gegenüber 21o mg% bei der Kontrollgruppe reduziert.

Der untersuchte Cholesterinspiegel ist kein Repräsentant für den gesamten Lipidstoffwechsel; aber man muß sich fragen, inwieweit die Veränderungen des Triglyzerid- und des freien Fettsäurespiegels und der Fettsäurecarrier mit Veränderungen der Spiegel der Lipide einhergeht, so auch des Cholesterin.

Das unterschiedliche Verhalten der jeweils in der Höhe und im Flachland trainierten Brüder wirft die Frage auf, wieso in drei Fällen ein geringerer Anstieg des Cholesterin-Spiegels beim Höhentrainierten und in einem Fall ein Abfall beim Höhentrainierten gegenüber einem Anstieg beim Bruder festzustellen ist. Es wäre möglich, daß die höhere Dauerleistungsfähigkeit, deren Ursache oder Auswirkung eine erhöhte Energiebereitstellung durch Fettoxydation und ein geringerer Triglyzeridspiegel in Ruhe sind, sprich ein besserer Trainingszustand ebenso mit einem niedrigeren Cholesterin-Spiegel einhergeht. Dann wäre das gruppenunterschiedliche Verhalten während des Trainings als Ausdruck einer Manifestation einer höhentrainingsbedingten Stoffwechselumstellung in einer Serumkonzentration zu sehen. Um eine Klärung zu erreichen, müßten die Cholesterinspiegel im Vergleich mit den Triglyzerid- und freie Fettsäurenspiegel beim Training im Flachland und beim Höhentraining in einer Verlaufsbeobachtung untersucht werden.

Allein aufgrund der zweimaligen Bestimmung des Cholesteringehaltes im Serum läßt sich nicht ausschließen, daß eine hypoxieinduzierte Stoffwechselumstellung, wie vielleicht die durch Höhentraining erhöhte Fettutilisation, eine Ursache oder ein mitbedingender Faktor oder eine Folge der höheren Dauerleistungsfähigkeit ist.

3.12. Enzyme, GOT, LDH, CPK

3.12.1. Ergebnis

3.12.1.1. GOT

In der Gruppe H stieg die Serumaktivität der GOT von durchschnittlich 21,63 U/l vor dem Training um eine Einheit auf durchschnittlich 22,63 U/l nach dem vierwöchigen Höhentraining, entsprechend ca. 5%. In der Gruppe M fiel die Serumaktivität der GOT von durchschnittlich 24,25 U/l vor dem Training um 4,5 U/l auf durchschnittlich 19,75 U/l nach dem vierwöchigen Training in Meereshöhe, entsprechend ca. 18,5%. Die geringfügigen Unterschiede in den Gruppen und unter den Gruppen liegen im Bereich des methodischen Fehlers.
Beim Vergleich der Zwillinge jeweils eines Paares findet man in zwei Fällen einen geringeren Abfall der Aktivität bei den Höhetrainierten, einmal einen Anstieg bei dem Höhentrainierten, während bei seinem Bruder ein Abfall zu verzeichnen ist, und einmal steigt bei beiden Brüdern die Aktivität im gleichen Maße an. Auch ein Vergleich der Trainierten mit den Untrainierten ergibt ein widersprüchliches Bild (Tab. 24).

3.12.1.2. LDH

Im Durchschnitt fallen in beiden Gruppen die LDH-Aktivitäten im Serum bei den Messungen nach der Trainingsperiode gegenüber den Bestimmungen vor dem Training ab: In der Gruppe H von 158,75 U/l um 7,5 U/l auf 151,25 U/l nach dem Höhentraining, in der Gruppe M von 156,25 U/l um 12,5 U/l auf 143,75 U/l nach dem Training in Meereshöhe. Der Abfall der Gruppe H entspricht ca. 4,8%, der der Gruppe M ca. 8% des Ausgangswertes.
Auch hier bietet sich beim Vergleich der Zwillinge jeweils

Tab. 24

GOT-Aktivität im Serum
in U/l

	Name	vor dem Training	nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	24,o	17,5	- 6,5	ca. - 27
	He.J.	25,o	12,o	-13	ca. - 62
	Ni.Be.+	22,5	13,o	- 9,5	ca. - 42
	Ni.Pe.	22,o	12,o	-1o,o	ca. - 45
1974	Ni.Pe.+	15,o	25,o	+1o,o	ca. + 67
	Ni.Be.	15,o	25,o	+1o,o	ca. + 67
	Wi.Be.+	25,o	35,o	+1o,o	ca. + 4o
	Wi.H.	35,o	3o,o	- 5,o	ca. - 14
	Gruppe H+	21,63	22,63	+ 1,o	ca. + 5
	Gruppe M	24,25	19,75	- 4,5	ca. - 18,5

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

eines Paares und beim Vergleich der Trainierten und Un - trainierten kein einheitliches Bild: In zwei Fällen ein geringerer Abfall der Serumaktivitäten bei Höhentrainierten, davon bei einem untrainierten Zwillingspaar, in einem Fall nach dem Höhentraining ein Aktivitätsabfall, wohingegen beim Bruder ein Anstieg zu verzeichnen ist, und in einem Fall bei dem zweiten untrainierten Zwillingspaar ein Anstieg nach dem Höhentraining und ein unveränderter Wert nach dem Training in Meereshöhe (Tab. 25). Alle Veränderungen liegen im Bereich des methodischen Fehlers.

3.12.1.3. CPK

Die Serumaktivität der CPK stieg in beiden Gruppen im Durchschnitt an, in der Gruppe H von 9o U/l vor der Trainingsperiode um 13,25 U/l auf 1o3,25 U/l nach dem vier - wöchigen Training in der Höhe, in der Gruppe M von 89,5 U/l um 23,75 U/l auf 113,25 U/l nach dem vierwöchigen Training in Meereshöhe. Der Anstieg der Gruppe H entspricht ca. 17%, der der Gruppe M ca. 26% des Ausgangswertes.
Beim Vergleich der Zwillinge jeweils eines Zwillingspaares zeigt sich, daß in zwei Fällen die Aktivität nach dem Höhentraining in geringerem Maße abfällt, und in zwei Fällen in geringerem Maße ansteigt. Auch der Vergleich der untrainierten mit den trainierten Zwillingen ergibt kein einheitliches Bild (Tab. 26). Alle Veränderungen liegen innerhalb der Fehlerbreite der Methode.

3.12.2. Beurteilung

Es existiert ein umfangreiches Schrifttum über die Ver - änderungen der Enzymserumaktivitäten nach körperlicher Leistung (Tab. 27 und 28). Die Aufstellung der Tabellen 27 und 28 kann wegen der Quantität des vorhandenen Schrifttums keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, sie zeigt aber dennoch das Übergewicht der Autoren, die eine Aktivitätssteigerung beobachtet haben gegenüber den Autoren, die keine Veränderungen oder Abnahmen der Serumaktivitäten gefunden haben. Als Ursache für eine belastungsinduzierte Aktivitätssteigerung könnte man folgendes annehmen:

Tab. 25

LDH - Aktivität im Serum
in U/l

	Name	vor dem Training	nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	15o	135	- 15	ca. - 1o
	He.J.	16o	125	- 35	ca. - 22
	Ni.Be.+	155	13o	- 25	ca. - 16
	Ni.Pe.	165	125	- 4o	ca. - 24
1974	Ni.Pe.+	17o	16o	- 1o	ca. - 6
	Ni.Be.	14o	165	+ 25	ca. + 18
	Wi.Be.+	16o	18o	+ 2o	ca. + 12,5
	Wi.H.	16o	16o	o	o
	Gruppe H+	158,75	151,25	- 7,5	ca. - 4,8
	Gruppe M	156,25	143,75	- 12,5	ca. - 8

+ Gruppe H = vierwöchiges Training in 2.ooo m Höhe.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Tab. 26

CPK-Aktivität im Serum
in U/l

	Name	vor dem Training	nach dem Training	Differenz	Differenz in %
1973	He.Kl.+	9o	78	- 12	ca. - 13
	He.J.	78	63	- 15	ca. - 2o
	Ni.Be.+	115	1oo	- 15	ca. - 13
	Ni.Pe.	145	11o	- 35	ca. - 25
1974	Ni.Pe.+	7o	1oo	+ 3o	ca. + 43
	Ni.Be.	65	11o	+ 45	ca. + 7o
	Wi.Be.+	85	135	+ 5o	ca. + 6o
	Wi.H.	7o	17o	+1oo	ca. +143
	Gruppe H+	9o	1o3,25	+ 13,25	ca. + 17
	Gruppe M	89,5	113,25	+ 23,75	ca. + 26

+ Gruppe H = vierwöchiges Höhentraining in 2.ooo m.
Gruppe M (ohne Zeichen) = Training in Meereshöhe.

Tab. 27

Literaturmitteilung über eine Zunahme von Serumenzymaktivitäten als Belastungsfolge nach R. Donath.

Autor	Belastung	Untersuchte Enzyme	Species	Trainingszustand
B.Ahlborg u. J. Brohult	Ergometrie	LDH-Ornithinkarbamoyltransferase	Mensch	trainiert
B.Ahlborg u. J. Brohult	Ergometrie	GOT-LDH-CPK	Mensch	trainiert
G.Ahlert u.a.	Ergometrie	LDH-GOT-ALD	Mensch	trainiert
P. Baumann u.a.	Ergometrie	LDH-CPK	Mensch	mäßig trainiert
P. Baumann u.a.	Boxen	ALD	Mensch	trainiert
P. Baumann u.a.	Lauf	CPK	Mensch	trainiert
P. Block u.a.	Ergometrie	GOT-GPT-LDH-CPK	Mensch	untrainiert
D.Böhmer	Laufband	AP-GPT-LDH-Glucoronidase Leucin-Aminipeptidase	Mensch	trainiert
G.L. Calvy u.a.	Mil.Übungen	MDH	Mensch	trainiert
A. Cantone u. P. Céretelli	Laufband	ALD	Mensch	untrainiert
A. Cantone u. P. Ceretelli	Laufband	ALD	Mensch	trainiert
D. Casula u.a.	unbekannt	GPT-LDH	Mensch	unbekannt
J.B. Critz	Step-Test	GOT	Mensch	trainiert
W.M. Fowler u.a.	Laufband	GOT-GPT-LDH-ALD-MDH	Mensch	untrainiert
W.M. Fowler u.a.	Lauf	GOT-PGT-LDH-SLD-MDH	Mensch	mäßig trainiert
G.W. Gardner u.a.	Laufband	GOT-GPT-MDH-ALD	Mensch	trainiert

C. Georgiew u. K. Prodanov	unbekannt	GPT	Mensch	trainiert
P.D. Griffiths	Gehen	CPK	Mensch	untrainiert
P.I. Halonen u. A. Kontinen	Gepaäckmarsch	LDH-MDH-ALD	Mensch	trainiert
L.S. Henley u.a.	unbekannt	GOT-GPT-LDH-MDH-ALD-GLDH	Mensch	untrainiert
W. Hollmann u.a.	Ergometrie	GOT-GPT-LDH-ALD-CPK	Mensch	mäßig trainiert
Z. Jirka u.a.	Skilauf	GOT-LDH	Mensch	trainiert
W. Kirsch	Lauf	Katalase	Mensch	untrainiert
F. Konreich	unbekannt	GOT-GPT-LDH-CPK	Mensch	unbekannt
W. Küstner u.a.	Ergometrie	CPK	Mensch	untrainiert
H. Loll u. A. Hilscher	Ergometrie	GOT-ALD-LDH	Mensch	unbekannt
S. Massarat u. N.Lang	Treppensteigen	GOT-LDH	Mensch	untrainiert
J. Müller u. J. Küchler	Lauftraining	Glykogenase	Mensch	trainiert
S. Nakano u.a.	Lauf	GOT-GPT-LDH	Mensch	trainiert
F.Q. Nutall u.B.Jones	Ergometrie	GPT-CPK	Mensch	untrainiert
P. Otto u.a.	Ergometrie	GPT-GOT-CPK	Mensch	mäßig trainiert
P. Otto u.a.	Ergometrie	GOT-GPT-LDH-ALD-MDH	Mensch	mäßig trainiert
P. Otto u.a.	Hallentraining	GOT-LDH-MDH	Mensch	trainiert
P. Otto u.a.	Ergometrie	GOT-GPT-LDH-ALD-MDH	Mensch	trainiert
V. Raitschewa u. K. Prodanov	unbekannt	Alamintransaminase	Mensch	unbekannt
K. Richter u. K. Konitzer	Ergometrie	ALD	Mensch	untrainiert
R. Richterich u.a.	Mil. Übungen	GOT-GPT	Mensch	trainiert
H.A. Schlang	Fitness-Progr.	GOT-GPT	Mensch	untrainiert

Tab. 27

K.W. Schneider u. E.R. Heise	Ergometrie	GOT-CPK	Mensch	unbekannt
G.C. Topi u.a.	Ergometrie	ALD-LDH-MDH	Mensch	trainiert
S. Totaro u.a.	unbekannt	ALD	Mensch	unbekannt
H.M. Wegmann u.a.	Ergometrie	GPT-GOT-ALD-MDH	Mensch	unbekannt
H. Wuschech u.a.	Ergometrie	GOT-LDH-ALD	Mensch	trainiert

Tab. 28

Literaturmitteilungen über eine Abnahme oder eine Konstanz der Serumenzymaktivitäten nach Belastung nach R. Donath

Autor	Belastung	Untersuchte Enzyme	Species	Trainings-zustand
P. Baumann u.a.	Ergometrie	LDH	Mensch	trainiert
P. Baumann u.a.	Boxen	GOT-GPT-LDH-MDH	Mensch	trainiert
P. Baumann u.a.	Laufen	LDH	Mensch	gemischt
G.L. Calvy u.a.	Mil. Übungen	LDH	Mensch	trainiert
G.L. Calvy u.a.	Dauertraining	LDH-MDH	Mensch	trainiert
J.B. Critz	Step-Test	GOT	Mensch	untrainiert
P.I. Halonen u. A. Konttinen	Gepäckmarsch	GOT-SDH	Mensch	trainiert
S. Massarat u. N. Lang	Treppensteigen	GPT	Mensch	untrainiert
P. Otto u.a.	Ergometrie	SDH-GLDH	Mensch	mäßig trainiert
P. Otto u.a.	Ergometrie	LDH	Mensch	untrainiert
J.M.S. Pearce u.a.	Ergometrie	CPK	Mensch	untrainiert
K. Vetter	Ergometrie	GOT-GPT-LDH-ALD-MDH	Mensch	trainiert

1.) Enzymefflux:

Ein erhöhter Enzymefflux aufgrund einer Membranpermeabilitätsänderung erhöht die Serumkonzentrationen der Enzyme. Ein Mangel an strukturerhaltender Energie, der durch die Belastung bedingt ist, wie zum Beispiel ein Mangel an energiereichen Phosphaten, führt zu einer Membranpermeabilitätsänderung (W. Schmidt und F.W. Schmidt), die einen verstärkten Enzymefflux aus den sie enthaltenden Zellorganellen ermöglicht.

2.) Zellschädigung:

Enzymaktiviätatssteigerungen im pathologischen Bereich findet man bei Zellschädigungen. P.D. Atland und B. Highman führten die Aktivitätssteigerung nach Belastung auf eine Zellschädigung zurück. Es hat sich bisher kein Anhalt dafür finden lassen, daß die körperliche Belastung mit Zellschädigungen einhergeht.

3.) Aktivierung:

Es findet eine Aktivierung der normal im Serum vorhandenen Enzyme aufgrund einer belastungsbedingten Veränderung der Serumzusammensetzung statt (W. Schmidt und F.W. Schmidt), die z.B. die Coenzyme und Cofaktoren betrifft. In diesem Fall könnte man sich eine Enzymaktivitätserhöhung ohne Erhöhung der Enzymkonzentration vorstellen.

4.) Gesteigerte Enzymsynthese:

Die Belastung führt zu einer gesteigerten Enzymsynthese. Die Annahme ist unwahrscheinlich, da eine induzierte Reaktionskette dieser Art längere Zeit benötigt.

5.) Hämolyse und Hämokonzentration:

Vermehrte Erythropoese oder Hämolyse bzw. Hämokonzentration führt zu einer absoluten bzw. relativen Aktivitätssteigerung.

6.) Erhöhter Spüleffekt:

Ein in der Belastungsphase agitierter Kreislauf erhöht den Spüleffekt. Diese Annahme ist unwahrscheinlich, da die Aktivitätsmaxima weit in der Erholungsphase liegen.

7.) Verzögerte Elimination:

Eine verminderte Leberdurchblutung führt zu einer verminderten Enzymelimination. Dagegen spricht, daß die Aktivitätsmaxima in der Erholungsphase zu einem Zeitpunkt liegen, an dem die Leberdurchblutung normalisiert oder relativ gesteigert ist. W. Schmidt und F.W.Schmidt fanden keine Zusammenhänge zwischen der körperlichen Aktivität und der Enzymeliminationsgeschwindigkeit.

8.) Hypoxie des Skelettmuskels:

Eine hypoxieinduzierte erhöhte Serumaktivität ist unwahrscheinlich, da W. Hollmann u.a. nach Belastungen mit Sauerstoffmangelgemischen keine höheren Enzymaustritte festgestellt haben.

Grundsätzlich sagt R. Donath, daß eine einmalige Blutentnahme keine verbindliche Aussage über die leistungsbedingte Serumaktivitätssteigerung der Enzyme zuläßt. Die in der vorliegenden Arbeit bestimmten Enzyme LDH und GOT könnten aus der Leber, Herz oder Skelettmuskel stammen. Die oben genannten Arbeiten (Tab. 27 und 28) lassen erwarten, daß eine Änderung der Serumaktivitäten durch das Training in beiden Gruppen zu finden sind. Das Ausmaß der Veränderungen hängt sicher von der Art, Intensität und Dauer der Belastung ab. Auch lassen untrainierte Vpn stärkere belastungsinduzierte Veränderungen erwarten. Eine hypoxiebedingte stärkere Aktivitätsänderung der Höhentrainingsgruppe läßt sich nach den o.g. Arbeiten von W. Hollmann u.a. nicht erwarten.

Das Bild der Einfachbestimmungen vor und nach der Trainingsperiode in der vorliegenden Arbeit läßt keine verbindliche

Aussage über die belastungsinduzierte Aktivitätsänderung zu, wenn auch vielleicht der Trend einer Aktivitätssteigerung der CPK im Verhältnis zu GOT und LDH zu sehen ist. Ein Zusammenhang zwischen der durch Höhentraining gegenüber quantitativ und qualitativ gleichem Training in Meereshöhe erzielten Leistungssteigerung und den Serumaktivitäten der GOT, LDH und CPK läßt sich nicht erkennen.

Tab. 29

Blutbild und Serumkonzentration bzw. Aktivitäten

Bestimmung	Mittelwerte d. Gruppe H^+			Mittelwerte d. Gruppe M			Unterschied > methodischer Fehler	
	vor d. Train.	nach d. Train.	Diff.%	vor d. Train.	nach d. Train.	Diff. %	in den Mittelwerten nach d. Training	in der mittl. Diff. der Werte vor u. nach d. Training
Hämoglobin (g%)	15,8	16,27	+ 2,9	15,6	15,57	- o,1	Ja	Ja
Erys (x 1o/mm^3)	5,28	5,36	+ 1,5	5,22	5,18	- o,4	Nein	Nein
Hämatokrit (%)	45,85	47,73	+ 4	45,35	46,1	+ 1,7	"	"
m.Ery-Volum (μ^3)	87	89,5	+ 2,9	87	88,5	+ 1,8	"	"
m.Hb im Ery (pg)	29,45	29,9	+ 1,5	29,5	29,55	+ o,2	"	"
m.Hb-Konz. im Ery (%)	34,o8	33,8o	- o,8	34,o5	33,6	- 1,3	"	"
Leukozyten (x $1o^3/mm^3$)	5,38	5,8o	+ 7,9	5,95	5,98	+ o,4	"	"
Gesamt-Bilirubin (µmol/l)	1o,5	14,5	+ 4o	9,88	14	+ 42	"	Nein *
Alkal. Phosphat (U/l)	51	47,5	- 7	67,38	68	+ 1	"	Nein
Na (mmol/l)	144,75	144,4	- o,25	144,5	144,4	- o,o8	"	"
Kal. (mmol/l)	4,44	4,38	- 1,4	3,96	4,33	+11	"	"
Cl. (mmol/l)	1o2,6o	1o2,75	+ o,15	1o2,8	1o2,o	- o,8	"	"

* Differenz der Werte vor und nach dem Training in der Gruppe H = methodischer Fehler, in der Gruppe M > methodischer Fehler

P (mmol/l)	1,o	1,15	+12	o,93	o,95	+ 2	Nein	Nein
CO_2 (mmol/l)	28,2	27,7	- 1,8	28,3	28,25	- o,2	"	"
Ca. (mmol/l)	2,54	2,5	- 1,7	2,51	2,42	- 3,8	"	"
Harnstoff (mmol/l)	5,15	4,85	- 5,8	5,25	4,85	- 7,6	"	"
Kreatinin (µmol/l)	9o,o	1oo,o	+11	83,25	88,25	+ 6	"	"
Ges.-Eiweiß (g/l)	72,75	73,25	+ o,7	71,88	73,75	+ 2,5	"	"
Albumin (g/l)	46,75	49,13	+ 5	45,89	47,38	+ 3,3	"	"
Glucose (mmol/l)	5,47	4,9	-1o,4	5,15	5,o3	- 2,5	"	"
Harnsäure (µmol/l)	296,75	326,5	+1o	293,5	287,5	- 2	Ja	Ja
Ges. Cholest.(mmol/l)	4,62	4,49	- 3	4,55	5,29	+16	Nein	Ja
CPK (U/l)	9o	1o3,25	+17	89,5	113,25	+26	Nein	Nein
LDH (U/l)	158,75	151,25	- 4,8	156,25	143,75	- 8	"	"
GOT (U/l)	21,63	22,63	+ 5	24,25	19,75	-18,5	"	"

Gruppe H^+ = Höhentraining in 2.ooo m

Gruppe M = Training in Meereshöhe

4. Zusammenfassende Beurteilung

Die Fragestellung dieser Arbeit ging neben der Untersuchung der normalen Höhen- und Trainingsanpassung vor allem dahin, ob und in wieweit die höhenbedingt gesteigerte Dauerleistungsfähigkeit zu Stoffwechselumstellungen bzw. deren Manifestation im Blut - bild, Serumkonzentrationen und Enzymaktivitäten zu korrelieren ist.

Das rote Blutbild zeigt eine mäßig ausgeprägte Umstellung im Sinne einer Höhenanpassung, bei der die Hypoxie mit einer gesteigerten Sauerstoffkapazität im Blut kompensiert wird; ob sich hinter den quantitativ nur geringen Unterschieden in den Serumkonzentrationen ein größerer Zellumsatz in der Höhengruppe verbirgt, ist mit den hier angewandten Methoden ohne hämatokinetische Untersuchungen nicht definitiv zu beweisen. Dafür spricht aber der außerhalb des methodischen Fehlers liegende Anstieg der Harnsäurekonzentration nach der Trainingsperiode in der Höhen - trainingsgruppe.

Eine Erhöhung des Albuminanteiles am Gesamt-Eiweiß spricht für die Annahme, daß eine belastungsbedingte Umstellung auf die energiereichen Fette unter Hypoxiebedingungen d.h. bei Gruppe H ausgeprägter ist und mit der gesteigerten Transportkapazität für energiereiches Substrat eine Vorraussetzung geschaffen wird, ein erhöhtes Sauerstoffangebot ökonomisch auszunutzen.

Generell für eine ausgeprägtere Umstellung des Fettstoffwechsels bei Höhenexposition sprechen die Cholesterinwerte. Genauere Untersuchungen des Gesamtlipidstoffwechsels an größeren Kollek - tiven müßten ergründen, ob sich die in dieser Untersuchung gezeigten Tendenzen auch in statistisch signifikante Veränderungen umwerten lassen.

Die Konzentration des Gesamtbilirubins im Serum erhöhte sich in beiden Gruppen, in der Gruppe H um ca. 4o%, in der Gruppe M um ca. 42%.

Die Veränderung kann eine Ursache in einer belastungsbedingten leicht verminderten hepatogenen Elimination haben. Sie kann aber auch in den Vergleichsgruppen auf verschiedenen Mechanismen beruhen, wobei sich bei der Erhöhung in der Höhentrainingsgruppe ein durch gesteigerten Erythrozytenumsatz vermehrtes Angebot an Blutfarbstoff anbietet.

Hieran zeigt sich auch die Schwierigkeit, Veränderungen ohne Verlaufsbeobachtungen zu diskutieren, da unterschiedliche Ursachen und Reaktionen zu einem Zeitpunkt zu quantitativ gleichen Ergebnissen führen können. Differenzierung der Ergebnisse lassen dann zum Beispiel nur Verlaufsuntersuchungen mit markierten Substanzen zu.

Insgesamt kann die von W. Meller et al. beobachtete erhebliche Leistungssteigerung der Gruppe H gegenüber der Gruppe M nicht korreliert werden zu Veränderungen von in dieser Untersuchung getesteten Blutparametern.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchung scheint es wahrschein - licher, daß kardiopulmonale oder muskuläre Umstellungen für die Leistungssteigerung verantwortlich sind.

Hierbei liegt es aber nahe, daß als mitbedingende Faktoren die Steigerung der Sauerstofftransportkapazität im Blut und eine Vermehrung der Transportkapazität für energiereiche Substrate erforderlich sind.

5. Zusammenfassung

1.) 1973 und 1974 führten W. Meller et al. vergleichende Untersuchungen an eineiigen Zwillingen über die Wirkung eines vierwöchigen Höhentrainings in 2.ooo m Höhe auf die Dauer - leistungsfähigkeit im Flachland durch. Der Höhentrainings - gruppe wurde eine Vergleichsgruppe gegenübergestellt, in der die Zwillingsbrüder der Höhentrainierten qualitativ und quantitativ gleich trainierten. Jeweils eines der beiden Zwillingspaare 1973 und 1974 war trainiert, eines untrai - niert. Durch diese Versuchsanlage wurden endogene und exogene Bedingungen in beiden Versuchsgruppen annähernd gleich gehalten.

Bei diesen Untersuchungen wurde ein erheblicher Anstieg der Dauerleistung und der Sauerstoffkapazität in der Höhentrainingsgruppe gegenüber der Vergleichsgruppe beobachtet.

2.) Vor und nach dem Training wurden Blutbestimmungen durchgeführt die dieser Arbeit zugrunde liegen, um zu untersuchen, ob Zusammenhänge zwischen der Leistungssteigerung und Veränder - ungen im Blutbild oder verschiedenen Blutkomponenten bzw. den sie repräsentierenden Stoffwechselveränderungen vorliegen.

3.) Dabei zeigte sich eine mäßig ausgeprägte Veränderung (1,5 - 4%) im roten Blutbild, die als Hypoxie induzierte Steigerung der Sauerstofftransportkapazität anzunehmen ist.

4.) Die außerhalb des methodischen Fehlers gestiegenen Harnsäurekonzentrationen in der Höhentrainingsgruppe sprechen für einen gesteigerten Turnover der Erythrozyten.

5.) Eine in der Höhentrainingsgruppe ausgeprägtere Erhöhung des relativen Anteiles der Albumine am Gesamt-Eiweiß kann auf ein gesteigertes Angebot an Carriern für freie Fettsäuren hinweisen, die mehr energetisches Substrat für ein größeres Sauerstoffangebot liefern.

6.) Das gruppenunterschiedliche Verhalten der Gesamt-Cholesterinwerte weist auf eine generelle Fettstoffwechselumstellung hin, in deren Rahmen es zu einer vermehrten Fettutilisation kommt.

7.) In beiden Gruppen wurde ein gegenüber dem Ausgangswert vor dem Training erhöhter Gesamtbilirubin-Spiegel nach dem Training gefunden, der keine Korrelation im gruppenunterschiedlichen Verhalten des roten Blutbildes findet.

8.) Keine Heterogenität der Vergleichsgruppen ließen Leukozytenzahlen, Serumkonzentrationen von Na, K, Cl, Ca, anorganischem Phosphat, Glukose, Harnstoff, Kreatinin, den Blutaktivitäten der alkalischen Phosphatase, der CPK und GOT erkennen.

9.) Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung kann man die gesteigerte Dauerleistung und O_2-Kapazität nicht allein durch eine Veränderung der Hämatopoese oder einer deutlichen Stoffwechselumstellung, die ihren Ausdruck in veränderten Serumkonzentrationen findet, bedingt sehen. Wahrscheinlicher ist eine erhöhte kardiopulmonale oder muskuläre Adaptation.

1o.)Ausblick: Die hier genannten Ergebnisse und die hierzu diskutierte Literatur, weisen auf folgende weiterzuverfolgende Fragestellung hin:

a.) Veränderungen der Kompartimente - Extrazellulärraum, Intravasalraum, Plasmavolumen und Intrazellulärraum - bei Höhenanpassung und Höhentraining:

Nur die Bestimmung dieser Bezugsgrößen ermöglicht eine Aussage darüber, ob gemessene Konzentrationsveränderungen auch einem Unterschied am Gesamtgehalt entsprechen und wieweit es sich um Pool-Umverteilungen, Synthese- oder Abbauveränderungen handelt.

b.) Erythrozyten - Kinetik:

Eine Erythrozyten- und Eisenkinetik sowie die Untersuchung der hepatogenen Elimination der Hämoglobinabbauprodukte könnte zur quantitativen Erfassung des erythropoetischen Hypoxiereizes führen und klären, wo in Bezug auf die Erythropoesean-

regung die optimale Reizintensität liegt.

c.) Energiestoffwechsel beim Höhentraining:

Eine Untersuchung der freien Fettsäuren und Triglyzeride sowie der Lipolyse und des Lipidtransportes im Höhentraining könnte klären, ob in der Substratbereitstellung ein wesentlicher spezifischer Effekt des Höhentrainings begründet ist.

Literaturverzeichnis
==========

Ahlborg B., and J. Brohult: Metabolic changes after longterm physical exercise. Försvarmedicin, 2, 35 (1966).

Ahlert, G.S. Platzek, H. Wuschech und M. Rattay: Das Serumenzymmuster des Hochleistungssportlers und seine Veränderungen unter erschöpfender körperlicher Belastung. Dtsch. Ges.-wesen, 22, 1042 (1967).

Atland, P.D., and B. Higman: Effect of exercise in serum enuyme values and tissues of rats. Amer. Physiol., 201, 393 (1961).

Barbashova, Z.I.: Cellular level of adaption. In: Handbook of Physic. Sect. 4 Adaption to the envirement. Herausgeber Dill, D.B. Baltimore 1964, S. 37-54.

Baumann, P.J. Escher und R. Richterich: Das Verhalten von Serum-Enzymen bei sportlichen Leistungen. Schweiz. Z.Sport.-med. 10,33 (1962).

Berendson, S. Hepatic Function at high altitudes. Arch. International Med. 109, 256 (1962).

Bessey, et al.: A Method for the Rapid Determination for Alkaline Phosphatase with 5 Cubic Millimeters of Serum, Jour Biol Chem, CLXIV, 321, (1946).

D. Bittner and M. Mc.Cleary: The Cupric-Phenentroline Chelate in the Determination of Monosaccharides in Whole Blood, Amer Jour Clin Path, XI, 423 (1963).

Block, P., M. van Rijment, R. Badjou, A.Y. van Melsem and R. Vogeler: The effect of exhaustive effort on serum enzymes in man. Biochemistry of exercise. Ed. J.R. Poortmans S. 259, Karger-Verlag, Basel-New York (1969).

Böhmer, D.: Änderung der Enzymaktivitäten im Serum bei Sportlern. Landarzt, 43, 635 (1967).

Borsock H., J.W. Dubnow: The hydrolysis of Phosphocreatine and the origin of urinary creatine. J. Biol. Chem. 168, 443 (1947).

Bradley, S.E., N. Engl. J. Med. 240, 456 (1949).

Brendel, W.: Anpassung von Atmung und Kreislauf im Verlaufe einer Himalaya-Expedition. Verh. 18. dt. Sportärztekongress 1967, W. Limpert 1958, S. 196-204.

Brown, M.E.: Ultra-micro Sugar Determinations using 2,9 -Dimethyl-1, 10-Phenanthroline Hydrochloride (Neocuprine, Diabetes, X, 60-62 (1961).

Brown, J. and C.M. Pearson: Clinical uses of adrenal Steroids McGrow-Hill, New York -Toronto- London, (1962).

Calvy, G.L., L.D. Cady, A. Mutson, J. Nierman and M.M. Gertler: Serum lipids and enzymes. Their levels after highcaloric, high-fat intake and vigorous exercise regimen in Marine recruit personnel. J. amer.med. Ass. 183 (1963).

Campbell, J.A.: Further observations on oxygen acclimatization. J. Physiol. London 63: 325-342, 1927.

Cantone, A. and P. Ceretelli: The effect of muscle work on serum aldolase activity in trained and untrained men. Int. Z. angew. Physiol. 18, 1o7 (196o).

Casula, D.P. Cherchi and A. Spinazola: The enzymoplastic features of muscular work. J. clin. Med. 42, 449 (1061).

Cohnheim, O. und E. Kreglinger: Beiträge zur Physiologie des Wassers und des Kochsalzes. Z. Phsiol. Chem. 63: 413-431. 19o9.

Coulter, W.H.: High speed automatic blood cell counter and all size analyzer. National Electronics Conference, Chicago, 1956.

Coulter-Counter S-prospect, for hämatology. Auf Anfrage erhältlich bei Coulter Electronics LTD.

Critz, J.B.: The effect of exercise on tissue and serum glutymic-oxalacetic transaminase. Dissertation Abstr. 22, 2852, (1962).

Donath, R.: Enzymologie in der Sportmedizin, Medizin und Sport 1o, S. 2, (107o).

Eckoldt, E. Eichorst, W. Roth, W. Thiele: Untersuchungen zur trainingsbedingten Erhöhung der totalen Hämoglobinmenge (HbT), Medizin und Sport, 78 (1969/7o).

Fowler, W.M., S.R. Chowbury, C.M. Pearson, G. Gardner and R. Bratton: Changes in serum enzyme levels after exercise in trained and untrained subjects. J. appl. Physiol. 17, 943 (1962).

Gambino, S.R. and H. Schreiber: The Measurement and Fractination of Bilirubin on the Autoanalyzer by the method of Jendrassik and Grof, Automation in Analytical Chemistry, Technicon Symposia (1964).

Gardner G.W., R. Bratton, S.R. Chowbury, W.M. Fowler and C.M. Pearson: Effect of exercise on serum enzyme levels in trained subjects. J. Sports Med. 1o3, (1964).

Georgiew C., and K. Prodanow: Klinisch-biologische Untersuchungen über die Glukose-6-phosphatisomerase. Med. und Sport 8, 55, (1968).

H.J. Gitelman: An Improved automated procedure for the Determination of Calcium in bilogical specimens, Anal. Biochem., XVIII, 521 (1967).

Griffiths, P.D.: Serum levels of ATP: Creatine phosphotransferase (Creatine kinase), The normal range and effect of muscular activity. Clin. Chem. Acta 13, 413 (1966).

Gross-Jahn: Lehrbuch der inneren Medizin. F,K. Schattauer-Verlag Stuttgart, 1966, S. 715.

Hallauer, W,J. Schirmeister, J. Staiger: Kreatinin in Serum und Harn unter maximaler körperlicher Belastung, Therapiewoche 52, 6121 (1974).

Halonen, P.I., and A. Konttinen: Effect of physical exercise on some enzymes in the serum. Nature 193, 942 (1962).

Haralambie, G.: Biochemie si Sport, Bukarest (1966).

Heilmeyer, L.K. Rechnagel und L. Albus: Blutbestand, Blutzusammensetzung, Blutumsatz und Leberfunktion im Höhenklima. Zschr. Ges. exper. Med. 9o: 573-595, 1933.

Heimpel, H.: Erythropoese und Erythrozytenumsatz, Handbuch der inneren Medizin, zweiter Band, S. 514 ff, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York 1968.

Henley, L.S., E. Schmidt und E.W. Schmidt: Serum Enzymes. J. Amer. med. Ass. 174, 977 (196o).

Hermanne. Weidemann: Höhenphysiologische Untersuchungen der körperlichen Ausdauer-Leistungsfähigkeit des Menschen, Verlag Karl Hofmann, Schorndorf bei Stuttgart (1972).

Hollmann, W., H. Schlüssel und H. Spechtmeyer: Einige Enzymspiegel unter Atmung variabler O_2-Gemische. Sportarzt, 166 (1965).

Huang et al. : Application to rapid serum Cholesterol determination, Anal. Chem. XXXIII, 14o5 (1961).

Hurst, R.O. The determination of nucleotide Phosphorus with Stannous Chloride-Hydrazine Sulphate Reagent, Can. Jour. of Biochem, LXII, 287-292 (1964).

Hurtado, A.: Acclimatization to high altitudes in: Weihe, W.H. (Heruasgeber) The physiological effects of high altitudes. Pergamon Press Oxford, London, New York Paris 1964.

Hurtado, A., C. Merino and E. Delgado: Influence of anoxemia in the hemopoetic activity. Arch. Intern. Med. 75: 284, 1945.

L. Jendrassik and P. Grof: Vereinfachte photometrische Methoden zur Bestimmung des Bilirubins, Biochem. Z. LXXXI, 297 (1938).

Jirka, Z., J. Novosadova und P. Lisonek: Die Problematik der Belastung bei Orientierungsläufen. Vortrag auf 18. Tagung f. Physiologie in Hradec Kralove, 2o.9.1966.

Jones: zitiert aus Schleusing, dort lt. mündl. Information.

Kessler, G., R. Rush, et al.: Automated 34o nm Measurement of GOT, GPT, and LDH, American Association of Clinical Chemistry Symposium Buffalo, New York (197o).

Kessler, G. and M. Wolfman: An Automated Procedure for the Simultaneous Determination of Calcium and Phosphorous, Clin. Chem.X, 686-7o3 (1964).

Keul, J.E. Doll, D. Keppler, H. Reindell,: Die Veränderungen arterieller Substratspiegel unter dem Einfluß körperlicher Arbeit, Int. 2 angew. Physiol. 22, 356 (1966).

Keul, J.E.Doll und G. Haralambie: Freie Fettsäuren, Gylzerin und Triglyoride im arteriellen und femuralvenösen Blut vor und nach einem vierwöchigen körperlichen Training, Pflügers Arch. 316, 194-2o4 (197o).

Keul, J. und G. Haralambie: Die chronischen Effekte körperlichen Trainings auf Stoffwechsel, Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Kreislaufforschung Bd. 37, 51o1 (1971).

Kinderman, W., J. Keul und H. Reindell: Grundlagen zur Bewertung Leistungsphsiologischer Anpassungsvorgänge, Dtsch. Med. Wschrft. 99, 25, 1372 (1974).

Kirsch, W.: Bestimmung der Serum- und Plasmakatalase beim Menschen unter verschiedenen physiologischen und patholigischen Bedingungen. Diss. Univ. d. Saarlandes, Homburg 1965.

Klausen, K.S. Robinson, E.D. Michael and L. G, Myhre: Effect of high altitude on maximal working capacity. J. Apll. Physiol.4,1191, 1966.

Köhler, R., Dtsch. Gesd. wes. 41, 1347 (1958).

Konreich, F., et H. Denolin: La creatinephosphokinase dans le diagnostic de l'infarctus du myocarde. Acta cardiol. 19,171 (1964).

Kraml, M., A Semi-Automated Determination of Phospholipids, Clin Chem Acta, XIII, 442-448 (1966).

Küstner, W., A. Paetzel und J. Weinreich: Veränderungen der Kreatininphosphokinase-Aktivität im Serum bei körperlicher Belastung. Med. Klin. 61, 1858 (1966).

Levine, J.J. and J.B. Hill: The Automated Photometic (34o) Procedure for the Determination of SGOT, reported in Automation in Analytical Chemistry, 1965 Technikon Syposia.

Liere van, E.J. and J.C. Stickney: Hypoxia. The University Press, Chicago-London 1963.

Loll, H., and A. Hilscher: Änderung der Substratkonzentration und der Enzymaktivität im Serum durch körperliche Belastung. Ärztl. Forsch. 12, 85 (1958).

Masarat, S., und N. Lang: Änderungen der Aktivitäten von SGOT, SGPT und anderen Serumenzymen sowie des Bromsulfphtaleintestes unter körperlicher Belastung bei entzündlich aktiven und inaktiven Lebererkrankungen. Gastroenterologia (Basel) 97, 231 (1962).

Marsh, Walton, H., et al.: Automated an Manual Direct Methods for the Determination of Blood Urea, Clin. Chem. XI, 624-627 (1965).

Meller, W., H. Mellerowicz, E. Lübs, Ch. Kieper und H. Howald: Vergleichende Untersuchungen über Wirkungen von Höhentraining auf die Dauerleistung in Meereshöhe an eineiigen Zwillingen aus dem Institit für Leistungsmedizin Berlin und dem Forschungsinstitut der eidgenössischen Turn- und Sportschule, Magglingen Schweiz.

Mellerowicz, H.: Vereinbarung des Standardisierungskomitees für Ergometrie ICSPE-Leistungsumsatzbedingungen bei ergometrischen Untersuchungen. In: 2. Internationales Seminar für Ergometrie. Ergon-Verlag, Berlin 1967.

Mellerowicz, H. und W. Meller: Vergleichende Untersuchungen zur Leistungsminderung in Mexico-City. Sportarzt und Sportmedizin 12, 496, 1967.

Mellerowicz, H., W. Meller, J. Woweries, J. Zerdick, O. Ketusinh, Br. Kral und W. Heepe: Vergleichende Untersuchungen über Wirkungen von Höhentraining auf die Dauerleistung in Meereshöhe. Sportarzt und Sportmedizin 9, 2o7 und 1o, 24o, 197o.

Merino, C.F.: Suties on Blood Formation and Destruction in the Polycythemia of high altitudy.Blood 5:1 (195o).

Merino, C.F. and C. Reynafarje: Bone marrow studies in the polycythemia of high altitudes J. Lab. Clin. Med. 34:637-647, 1949.

Morgenstern, et al.: An Automated p-Nitrophenyl Phosphate Serum Alkaline Phosphatase Procedure for the Autoanalyzer, Clin. Chem. XI, 876 (1965).

Morgenstern, S., R. Flor, G. Kessler and B. Klein: The Automated Determination of NAD-Coupled Enzymes, Part II, Serum Lactate De - hydrogenase, Clin. Chem XII, 274-281 (1966).

Müller, J. und J. Küchler: Über den Einfluß sportlicher Betätigung auf den Enzymserumspiegel. Z. ärztl. Fortb. 55, 919 (1961).

Muralt, A. von: Introduction: Where are we? A short review of high altitude physiology, in Weihe, W.H. (Herausgeber) The Physiological effects of high altitude, Pergamon Press Oxford, London New York, Paris (1964).

Musser, A.W. and C. Ortigoza: Automated Determination of Uric Acid by the Hydroxylamine Method, Tech. Bull. of the Regist. ry of Med Techs. XXXVI, 21-25, (1966).

Nakano, S., S. Okawa und S. Sugiura: Effects of exercise on serum enzyme values. Kongr. Ber. XVI Weltkongr. f. Sportmed. Ed. G. Hanekopf, S. 554. Deutscher Ärzteverlag, Köln-Berlin 1966.

Ness, A.J. et al.: The determination of Albumin, Human Serum, by specifies binding of the anionic dye, 2-(4-Hydroxybenzeneazo)-Benzoic Acid, Clin. Chem. Acta, XII, 532 (1965).

Nishi, H.H. and A. Rhodes: An Automated Procedure for the Determination of Albumin in Human Serum, Automation in Analytical Chemistry-Technikon-Symposia. (1965).

Nöcker, J. und G. Schleusing, Dtsch. Gesd.wes. 18, 554 (1958)

Nutall, F.Q., and B. Jones: Creatine kinase and glutamic oxalacetic transaminase activity in serum: Kinestics of change with exercise and effect of physical conditoning. J. Lab. clin. Med. 71,847 (1968).

Otto, P., E. Schmidt und F.W. Schmidt: Enzymspiegel im Serum bei körperlicher Arbeit und ambulanten Patienten. Klin. Wschr. 42,75,1964

Pearce, J.M.S., R.J. Pennington and J.N. Walton: Serum enzyme studies in muscle disease. I. Variations in serum CPK-activity in normal individuals. J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 27, S. 96 (1964).

Raitschewa, V. und K. Prodanov: Experimentelle Untersuchungen über einige Veränderungen der Enzymaktivität im Serum bei psychischer Belastung. Med. und Sport. 8, 57 (1968).

Ramsoe, K., S. Jarnum, R. Preisig, J. Tauber, N. Tygestrup and H. Westergaard: Liver function and blood flow at high altitude. J. of applied Physiology Vol. 28, 728 (197o).

Rein-Schneider: Einführung in die Physiologie des Menschen 16. Auflage Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New York 1971.

Reynafarje, C.: Myoglobin contnent and enzymatic activity of muscle and altitude adaption, J.Appl. Physiol. 17: 3o1-3o5 (1962).

Reynafarje, C., R. Lozano and J. Valdivieso: Red Cell Life Span in the Polycythemia of high altitude, Blood 14: 433 (1959).

Richter, K. und K. Konitzer: Veränderungen der Aldolaseaktivität im Bltuserum bei Muskelarbeit. Klin.Wschr. 38, 998 (196o).

Richterich, R., F. Verrey, R. Gautier und K. Stampfli: Serumenzyme bei Blutspendern. I. Oxalacetat-und Pyruvattransaminase bei Rekruten mit Gelbsuchtanamnese. Schweiz, med. Wschr, 91,6o1 (1961).

Roskamm, H., L. Samek, H. Weidemann und H. Reindell: Der Effekt eines vierwöchigen standartisierten Ergometertrainings in verschiedenen Höhen (26o, 225o, 345o). In: Muskelarbeit und Muskeltraining. A.W. Gentner-Verlag Stuttgart 1968.

Roskamm, H., L. Samek, H. Weidemann und H. Reindell: Leistung und Höhe, herausgegeben von Knoll Ag , 1968.

Ruppanner, E.: Schweizer med. Wschr. 5o (192o)

Rush, R.L. et al.: The Automated Photometric (34o) Procedure for the Determination of SGOT, described at the American Association of Clinical Chemistry Symposium, Buffalo (197o).

Rutstein, D.D. et al.: The Determination of Albumin in Human Blood Plasma and Serum. A Method based on the Interraction of Albumin with an Anionic Dye-2-(4-Hydroxybenzeneazo) Benzoic Acid, Jour Clin Invest XXXIII, 211 (1964)

Sanchez, C., E. Crosby and C. Merino: Bilirubinemia in the Polycythemia of high altitude. Proc.Soc.Exp.Biol.Med.123, 478 (1966).

Schlang, H.A.: The effect of Physical exercise on serum transaminase.Amer. J.med.Sci. 242, 338 (1961).

Schleusing, G.: Leberfunktion unter Belastung.Z. ges. inn. Med. 15, 34 (196o).

Schmidt, W., and F.W. Schmidt: Enzyme modifications during activity. Biochemistry of Exercise. Ed.J.R. Poortmans, S. 216. Karger-Verlag. Basel-New York 1969.

Schneider, K.W., und E.R. Heise: Due diagnostische Bedeutung einer erhöhten CPK-Aktivität im Serum. Dtsch.med.Wschr. 88,52o (1963).

Shorey, J., S. Schenker and B. Combes: Effect of acute hypoxia on hepatic excretory function. Amer.J.of Physiology 216,1441 (1969).

Siegel A.L. and P.S. Cohen: The SMA 12/6o System automated procedure for the Measurement of Creatine Phosphokinase activity, reported in Automation Analytical Chemistry, Technicon Symposia, 47-476 (1966).

Siri, W.E., D.C. van Dyke and H.S. Winchell: Early erythropoetin, blood and physiological responses to severe hypoxia in man, J. Appl. Physiol. 21: 73-8o (1966).

Skeggs, L.T. Jr. and H. Hochstrasser: Multiple Automatic Sequential Analysis, Clin. Chem.X, 918-936 (1964).

Sobrinho-Simoes, M.: A Sensitive Method for the Measurement of Uric Acid Using Hydroxylamine, Jour. Lab. and Clin. Med., LXV, 665-668 (1965).

Sommerwell, T.H.: Note on the composition of alveolar air at extreme heights. J. Phsiol. 6o: 282-285 (1925).

Stickney, J.C., P.S. Stewart and J.L. Collins: Plasma Bilirubin and Bromsulfophtalein Clearence During Simulated High Altitude in Unanesthetized Rats. Proc. Soc.Exp.Biol.Med. 118, 433 (1965).

Surks, M.I.: Metabolism of human serum Albumin in man during acute exposure to high altitude (14 1oo Feet). J.of Clin. investigation, Vol. 45, No. 9, 1442 (1966).

Topi, G.C., L.G.D. Allessandro et G. Piovano: Modification enzymoplasmatiques causés par le travail musculaire chez des sujets d'âge moyen. Biochemestry of Exercise. Ed.J.R. Poortmans. S. 28o, Karger-Verlag Basel-New-York (1969).

Totaro, S.G. Curatello et F. Manzo: Effect della fatica su alcune attività enzimatiche suriche. Sov. Murano 15, 372 (1963).

Vetter, K. Serumfermente und ihr Verhalten unter Physiologischen Bedingungen, Z. ges. inn. Med. 9, 359 (1961).

Verzar, F.: Die ersten morphologischen Erythrozyten-Veränderungen im Hochgebirge, Höhenklima-Forschungen des Baseler Physiologischen Instituts, Herausgeber F. Verzar, Schwabe-Verlag Basel, 41-49 (1945).

Verzar, F. und W. Voegtli: Die initialen Erythrozyten-Veränderungen im Hochgebirge, Höhenklima-Forschungen des Baseler Physiologischen Instituts, B. Schwabe, Basel 29-4o (1945).

Viault, F.: Sur l'augmentation considérable du nombre des globules rouges dans le dang chez les habitants des hauts plateaux de l'Amériques du Sud. Cmpt. Rend 111: 917, 189o.

Wegmann, H.M., K.E. Klein und H. Brüner: Submaximale Belastung und maximale Belastbarkeit. I. Biochemische Untersuchungen an Untrainierten unter körperlicher Arbeit. Int. Z.angew.Physiol.26,4(1968).

Weidemann, Hermann E.: Höhenphysiologische Untersuchungen der körperlichen Ausdauer-Leistungsfähigkeit des Menschen, Verlag Karl Hofmann, Schorndorf b. Stuttgart, (1972).

Westergaard, H., S. Harnum, R. Preisig, H. Ramsoe, J. Tauber and N. Tygstrup: Degradation of albumin and IGG at high altitude. J. of applied Physiologie Vol. 28, 728, (197o).

Wildbrandt, W.u.E. Herrmann: Die osmotische Resistenz der Erythrozyten im Hochgebirge, Muralt, A. (Herausgeber), Klimaphysiologische Untersuchungen in der Schweiz, I.B. Schwabe, Basel, 41-49 (1945).

Wintrobe, M.M.: Blood of Normal Men and Women, Bulletin of Johns Hospital, 53, 118 (1933).

Wolf, F., W. Henning und H. Kinzlmeier, Dtsch.med.Wschr.83,747 (1958).

Wood, P.P.: 47th Ann. Meet. Amer. Heart Ass., Dallas 18-21. Nov. 1974 referiert in Praxis Kurier 5o/1974, S. 1-2.

Wuschech, H., M. Rattey, W. Roth und E. Ahrendt: Serumenzymverhalten unter extremen körperlichen Belastungen bei Ausdauersportlern. Med. und Sport 8, 18 (1968).

Zum Dank bin ich verbunden für die Überlassung des Themas sowie für eine Beratung während der Arbeit Prof. Dr. H. Mellerowicz und für die kritische Anregung Dr. Röcker.

Lebenslauf

Geboren:	5. März 1951 in Berlin
Vater:	Dr. Heinrich Epping, Arzt
Mutter:	Marie-Luise Epping, geb. v. Viebahn
1957 - 1961	Besuch der 4. Grundschule in Berlin
1961 - 197o	Besuch des Canisius-Kolleg-Gymnasiums in Berlin (altsprachlicher Zweig)
1o.1.197o	Reifeprüfung
SS 197o	Beginn des Medizinstudiums an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen
26.3.1971	Naturwissenschaftliche Vorprüfung an der Universität Tübingen
21.9.1972	Ärztliche Vorprüfung an der Universität Tübingen
WS 72/73	Fortsetzung des Medizinstudiums an der Freien Universität Berlin
23.2.1976	Medizinisches Staatsexamen an der Freien Universität Berlin

difo-druck · 8600 bamberg
untere königstraße 30